

Brunon Lejdy, Andrzej Sajczyk

LABORATORIUM
URZĄDZEŃ ELEKTROENERGETYCZNYCH

Wydanie III
poprawione i rozszerzone

BIAŁYSTOK 1999

DZIAŁ WYDAWNICTW I POLIGRAFII

146076
wydawnictwo dydaktyczne
Wydziału Elektrycznego

Biblioteka Główna
Politechniki Białostockiej



1025928

Recenzent

prof. dr hab. inż. Zbigniew Wróblewski

Opracowanie redakcyjne – Jadwiga Żukowska
Skład komputerowy – Teresa Dawidowicz
Korekta – Autorzy

ISBN 83-86272-93-7

Skład i druk w Dziale Wydawnictw i Poligrafii Politechniki Białostockiej. Nakład 300 egz. Format B-5. Ark. wyd. 11,0. Ark. druk. 12,5. Oddano do druku i druk ukończono w czerwcu 1999 r. Zam. 36/99.

SPIS TREŚCI

	Strona
I. Przedmowa	5
II. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa pracy	6

ĆWICZENIA

1. Badanie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim	8
2. Badanie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim w układzie z wyłącznikiem różnicowoprądowym	25
3. Badanie zagrożenia porażeniowego	35
4. Pomiary rezystancji uziemienia i rezystywności gruntu	44
5. Poprawa współczynnika mocy w urządzeniach odbiorczych niskiego napięcia	51
6. Badanie wkładek topikowych bezpieczników instalacyjnych	58
7. Dobór zabezpieczeń silników	67
8. Badanie wyłączników samoczynnych niskiego napięcia	75
9. Badanie nagrzewania się przewodów pod wpływem prądu	94
10. Badanie zjawisk cieplnych i elektromagnetycznych przy przepływie prądów zwarciovych	103
11. Badanie nagrzewania się elementów aparatów elektrycznych przy przepływie prądu	109
12. Badanie rezystancji zestykowej	117
13. Sterowanie silników indukcyjnych stycznikami	124
14. Badanie niektórych parametrów przekładników prądowych i napięciowych	129
15. Badanie łączników stycznikowych	144
16. Badanie przekaźników termobimetalowych	153
17. Badanie obwodów z łukiem elektrycznym	159
18. Badanie wyłączników instalacyjnych i różnicowoprądowych	169
Literatura	184

ZAŁĄCZNIKI

Strona

1. Określenia stosowane w ochronie przeciwporażeniowej	188
2. Układy sieci elektroenergetycznych niskiego napięcia	190
3. Skutki działania prądu elektrycznego na organizm ludzki	192
4. Ratowanie porażonych prądem elektrycznym. Pomoc doraźna	196

I. PRZEDMOWA

Ćwiczenia w laboratorium Katedry Elektroenergetyki są uzupełnieniem wykładów i ćwiczeń z przedmiotu urządzenia elektryczne, prowadzonych dla studentów studiów stacjonarnych i zaocznych, specjalności automatyka i technika mikroprocesorowa, automatyzacja przemysłu, elektroenergetyka, technika świetlna oraz przetwarzanie i użytkowanie energii elektrycznej.

Ograniczony czas trwania każdego ćwiczenia wymaga starannego przygotowania studentów przed ćwiczeniami. Zakres niezbędnych wiadomości jest podany w każdym ćwiczeniu. Zakończeniem ćwiczenia jest opracowanie wyników badań. Ma ono postać protokołu i powinno zawierać podstawowe dane układu pomiarowego, parametry badanych urządzeń, wyniki wykonanych pomiarów i obserwacji oraz szczegółowe wnioski.

Wykonane przez studentów obserwacje i badania powinny im ułatwić przyswojenie niektórych wiadomości objętych programem przedmiotu oraz umożliwić nabycie umiejętności rozwiązywania wybranych zagadnień, spotykanych w praktyce.

II. WYMAGANIA DOTYCZĄCE BEZPIECZEŃSTWA PRACY

Podczas wykonywania ćwiczeń w laboratorium należy przestrzegać następujących zasad:

1. Przed przystąpieniem do montowania układu pomiarowego należy dokonać oględzin przydzielonej aparatury i urządzeń. Stwierdzone uszkodzenia powinny być zgłaszane prowadzącemu ćwiczenia.
2. Montując układ pomiarowy należy pamiętać, by zawsze między źródłem prądu a badanym układem był umieszczony łatwo dostępny wyłącznik. Jedną z uczestniczących w ćwiczeniu osób powinna zajmować miejsce obok tego wyłącznika, aby w razie zauważenia nieprawidłowości w pracy układu natychmiast wyłączyć napięcie.
3. Ze stanowiska pomiarowego należy usunąć wszelkie zbędne przedmioty a zwłaszcza niepotrzebne przewody montażowe.
4. Włączenie badanego układu do napięcia może odbywać się jedynie w obecności i za zgodą prowadzącego ćwiczenia, po sprawdzeniu przez niego układu. Przed załączeniem układu trzeba upewnić się, czy nikt nie manipuluje przy układzie pomiarowym. Za uszkodzenie przyrządów i inne straty wynikłe z winy ćwiczących odpowiadają oni materialnie.
5. Po załączeniu napięcia nie wolno wykonywać żadnych przełączeń w układzie. Rozmontowanie i ewentualne przełączenia mogą być robione po wyłączeniu napięcia i za zgodą prowadzącego ćwiczenia.
6. Nie należy, bez istotnej potrzeby, dotykać korpusów urządzeń i maszyn elektrycznych. Podczas wykonywania ćwiczenia należy unikać stykania się z wszelkiego rodzaju dobrze uziemionymi przewodzącymi przedmiotami, takimi jak kaloryfery, instalacje wodociągowe itp.
7. Nie wolno dotykać wirujących części maszyn elektrycznych oraz uważać, by nie zostały przez nie zaczepione części odzieży.

8. Wykonywanie ćwiczeń może odbywać się tylko na stanowisku wskazanym przez prowadzącego. Nie wolno używać innego sprzętu i aparatów niż te, które przydzielił prowadzący ćwiczenia.
9. Należy pamiętać, że urządzenia i aparaty wyposażone w kondensatory mogą jeszcze po wyłączeniu napięcia zagrazać porażeniem.
10. Niedozwolona jest samowolna obsługa rozdzielnic głównych w laboratorium, a zwłaszcza załączanie napięcia na stanowiska pomiarowe.

Przed przystąpieniem do ćwiczeń należy zapoznać się z materiałem zawartym w załącznikach 3 i 4.

Ćwiczenie 1

BADANIE SKUTECZNOŚCI OCHRONY PRZED DOTYKIEM POŚREDNIM

1.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie metod kontroli skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim przez samoczynne wyłączenie zasilania, realizowane urządzeniami ochronnymi przetężeniowymi. Celem ćwiczenia jest również poznanie zasady działania oraz zakresu stosowania niektórych podstawowych mierników impedancji pętli zwarciowej w sieci TN. W czasie ćwiczenia należy sprawdzić różnymi miernikami warunek skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) w sieci TN.

1.2. Wiadomości podstawowe¹

1.2.1. Wyjaśnienia ogólne

Ochrona przed dotykiem pośrednim (ochrona dodatkowa) w sieci TN polega na połączeniu części przewodzących dostępnych z uziemionym przewodem ochronnym PE lub przewodem ochronno-neutralnym PEN i powoduje w warunkach zakłóceń samoczynne wyłączenie zasilania. Urządzenie wyłączające (zabezpieczające) powinno działać w taki sposób, aby w przypadku zwarcia między częścią czynną a częścią przewodzącą dostępną napięcie na części przewodzącej dostępnej zostało wyłączone w czasie nie powodującym niebezpiecznych skutków patofizjologicznych dla człowieka lub nie przekroczyło wartości dopuszczalnego długotrwale, w określonych warunkach środowiskowych, napięcia U_L .

¹ Należy zapoznać się również z materiałem zawartym w załącznikach 1 i 2.

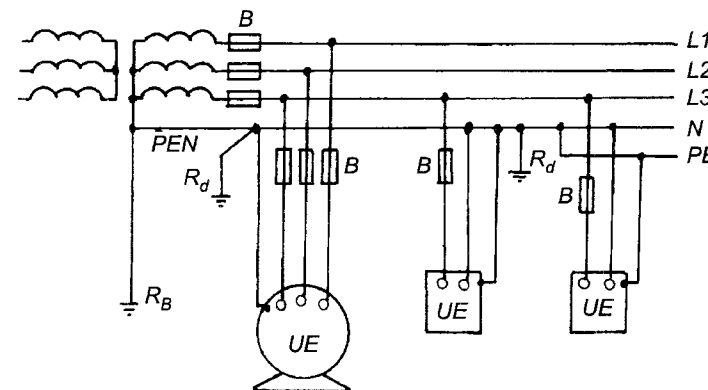
Najdłuższy dopuszczalny czas wyłączenia zależy od napięcia znamionowego względem ziemi oraz od układu sieci.

W tabeli 1.1 podano wartości najdłuższego dopuszczalnego czasu wyłączenia w sieciach typu TN. W pewnych okolicznościach dopuszcza się dłuższy czas wyłączenia niż podano w tabeli 1.1, bez względu na spodziewane wartości napięcia dotykowego, nie dłuższy jednak niż 5 s.

Tabela 1.1.

Najdłuższe dopuszczalne czasy wyłączenia w sieciach typu TN

Napięcie znamionowe względem ziemi U_o [V]	Czasy wyłączenia [s] w warunkach, w których napięcie dopuszczalne U_L wynosi	
	50 V ~ , 120 V -	25 V ~ , 60 V -
1	2	3
120	0,8	0,35
230	0,4	0,20
277	0,4	0,20
400	0,2	0,05
480	0,1	0,05
580	0,1	0,02



Rys. 1.1. Sposób ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) w sieci TN-C-S: R_B – uziemienie robocze neutralnego punktu układu sieciowego, R_d – dodatkowe uziemienie robocze, B – urządzenie ochronne przetężeniowe (bezpiecznik), UE – urządzenie podlegające ochronie przed dotykiem pośrednim (ochronie dodatkowej)

W sieciach typu TN samoczynne wyłączenie zasilania może być realizowane przez zastosowanie urządzeń ochronnych przetężeniowych (nadprądowych), takich jak: bezpieczniki i wyłączniki (rys. 1.1) lub/i urządzeń ochronnych różnicowoprądowych (opisane w ćwiczeniu nr 2).

Skuteczność działania urządzeń ochronnych przetężeniowych określa warunek samoczynnego wyłączenia zasilania

$$Z_s I_a \leq U_o \quad (1.1)$$

w którym:

Z_s – impedancja pętli zwarciowej obejmującej źródło zasilania, przewód roboczy aż do punktu zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem;

I_a – prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego w czasie zależnym od napięcia znamionowego U_o , określonym w tabeli 1.1 lub w pewnych okolicznościach w czasie umownym nie dłuższym niż 5 s;

U_o – napięcie znamionowe względem ziemi.

Stosowane obecnie w instalacjach bezpieczniki topikowe mają różne charakterystyki czasowo-prądowe. Porównanie charakterystyk: szybkiej (Bi-Wts), zwłocznej (Bi-Wtz) i gL (pełno zakresowa zdolność wyłączania, do zabezpieczenia przewodów i kabli) dla bezpieczników instalacyjnych o prądzie znamionowym 6,20, 26, 20, 25 przedstawiono w tabeli 1.2.

Tabela 1.2.

Prądy I_a zapewniające samoczynne wyłączenie zasilania dla bezpieczników¹⁾

Prąd znamionowy bezpiecznika [A]	Czas wyłączenia [s]	Prądy I_a [A] przy zastosowaniu bezpiecznika:		
		Bi-Wts	Bi-Wtz	gL
6	0,4	35	50	50
	5,0	18	27	28
10	0,4	45	80	84
	5,0	29	46	47
16	0,4	78	133	130
	5,0	49	77	72
20	0,4	102	193	165
	5,0	64	105	88
25	0,4	127	258	220
	5,0	75	144	120

¹⁾ Wyznaczone z charakterystyk czasowo-prądowych

W tabeli 1.2 podano wartości prądu I_a dla przykładowego czasu wyłączenia: 0,4 i 5 s. Wartości prądu I_a można wyznaczyć z charakterystyk czasowo-prądowych urządzeń ochronnych przetężeniowych.

W instalacjach elektrycznych dla celów ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania wykorzystuje się stosowane w nich urządzenia nadmiarowoprądowe, mające zapewnić ochronę przewodów i odbiornika przed skutkami zwarcia i przeciążeń. Urządzenia nadmiarowoprądowe można podzielić na trzy grupy:

- urządzenia jednocześnie chroniące przed prądem przeciążeniowym zwarciowym, do których zalicza się bezpieczniki instalacyjne i wyłączniki samoczynne z wyzwalaczem termicznym i elektromagnetycznym;
- urządzenia chroniące wyłączenie przed prądem zwarciowym, do których zalicza się bezpieczniki dobezpieczeniowe i wyłączniki samoczynne z wyzwalaczem elektromagnetycznym,
- urządzenia chroniące wyłącznie przed prądem przeciążeniowym, do których zalicza się wyłączniki lub styczniki wyposażone tylko w wyzwalacz termiczny.

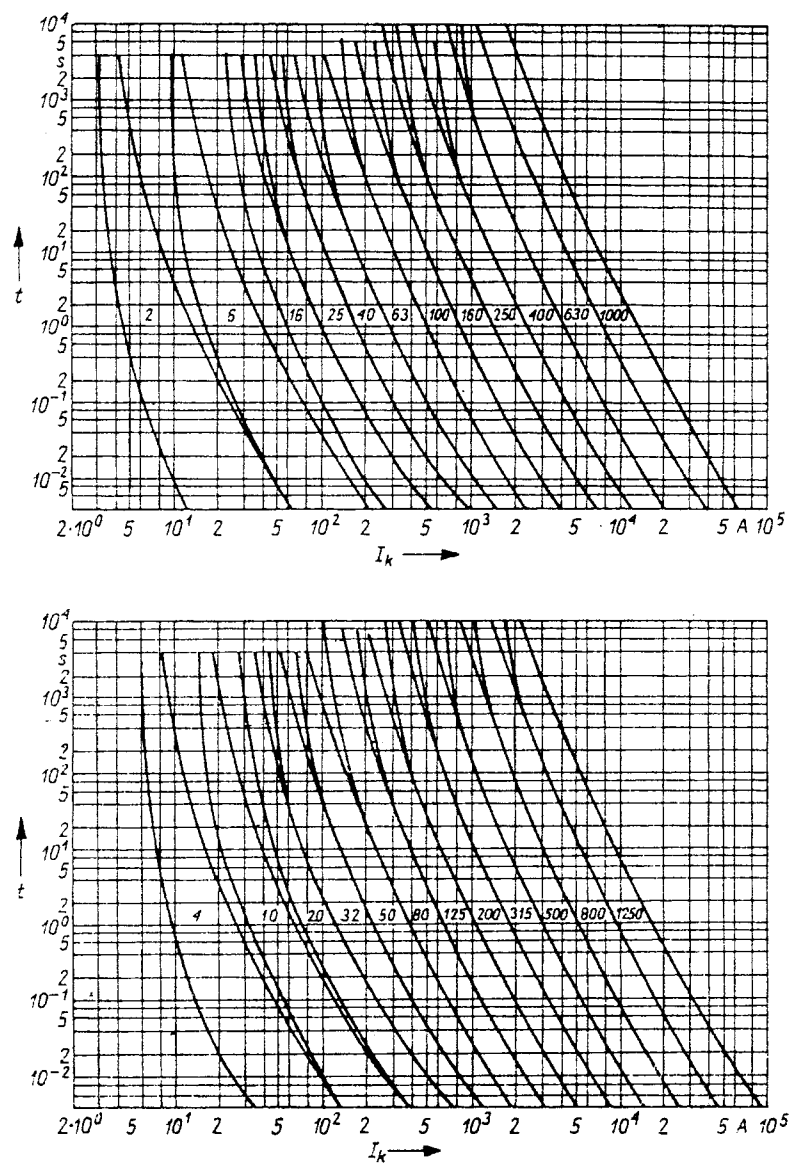
Dla celów ochrony przeciwporażeniowej powinny być stosowane jako urządzenia wyłączające tylko urządzenia jednocześnie chroniące przed prądem przeciążeniowym i zwarciowym.

Przykłady charakterystyk czasowo-prądowych bezpieczników i wyłączników instalacyjnych podano na rysunkach 1.2 i 1.3. Przy zastosowaniu bezpieczników, z charakterystyk czasowo-prądowych wyznacza się wartość prądu I_a . Po zainstalowaniu w obwodzie chronionym wyłącznika instalacyjnego wartość prądu I_a zależy od charakterystyki czasowo-prądowej (B, C lub D) wyzwalacza elektromagnetycznego w jaki wyposażony jest ten wyłącznik i wynosi on:

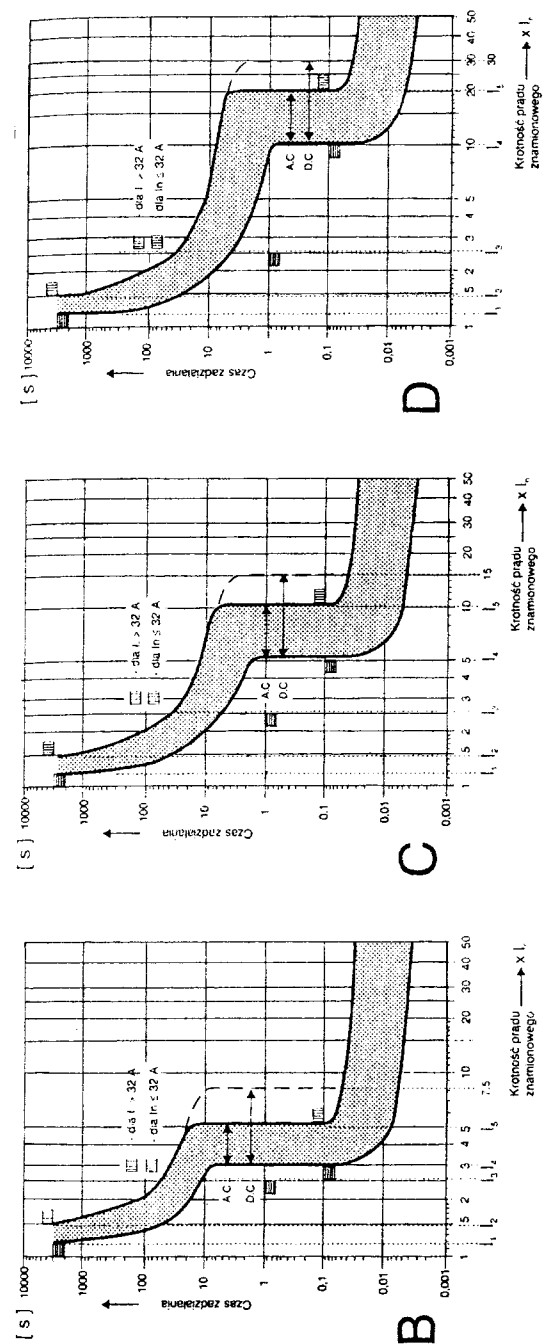
- dla wyłącznika z charakterystyką B – $5 I_n$,
- dla wyłącznika z charakterystyką C – $10 I_n$,
- dla wyłącznika z charakterystyką D – $20 I_n$,

przy czym I_n jest prądem znamionowym wyłącznika.

Przewody ochronne PE i ochronno-neutralne PEN powinny spełniać odpowiednie wymagania (podane w normie) w zakresie obciążalności prądowej i wytrzymałości mechanicznej.



Rys. 1.2. Charakterystyki czasowo-prądowe pasmowe bezpieczników klasy gL; I_k – prąd zwarcia początkowy spodziewany



Charakterystyka czasowo-prądowa według EN 60898 i PN-90/E-93002

Typ	Wyłącznik przeciążeniowy termobimetalowy		Wyłącznik przeciążeniowy elektromagnetyczny	
	Prąd I_1	Czas	Prąd I_5	Czas
B	$1,13 I_n$	$\geq 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}$	$3 I_n$	$\geq 0,1 \text{ s}$ $< 0,1 \text{ s}$
C	$1,13 I_n$	$\geq 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}$	$10 I_n$	$\geq 0,1 \text{ s}$ $< 0,1 \text{ s}$
D	$1,13 I_n$	$\geq 1 \text{ h}$ $< 1 \text{ h}$	$20 I_n$	$\geq 0,1 \text{ s}$ $< 0,1 \text{ s}$

$I_3 = 2,55 I_n$ zadziałanie w czasie $1 \text{ s} < t < 60 \text{ s}$ dla $I_n \leq 32 \text{ A}$ Temperatura składowania 30°C
 $1 \text{ s} < t < 60 \text{ s}$ dla $I_n > 32 \text{ A}$

UWAGA: Charakterystykę D przyjęto zgodnie z EN 60898

Rys. 1.3. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników instalacyjnych (wyłączniki serii S-190)

1.2.2. Badanie skuteczności ochrony dodatkowej

Zakres czynności powinien być następujący:

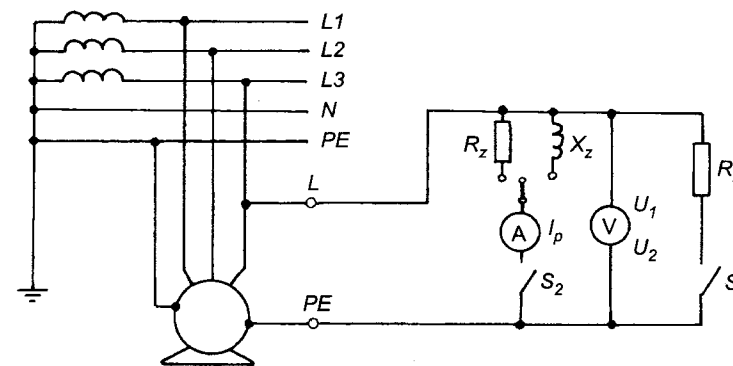
- badanie uziemień roboczych sieci,
- kontrola urządzeń ochronnych przetężeniowych,
- badanie przewodów ochronnych,
- wyznaczenie prądu wyłączającego I_a urządzeń ochronnych,
- pomiary impedancji lub rezystancji pętli zwarciovych.

W ocenie skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) bardzo istotne jest sprawdzenie warunku samoczynnego wyłączenia zasilania. Polega ono na wyznaczeniu prądu zwarciovego przy zwarciu przewodu skrajnego z częścią przewodzącą dostępną (np. metalowa obudowa silnika) i sprawdzeniu warunku samoczynnego wyłączenia zasilania. Sprawdzenie warunku, czy prąd zwarciovowy w danym miejscu sieci elektroenergetycznej, w danym obwodzie, w danym urządzeniu osiąga wartość co najmniej równą prądowi wyłączającemu I_a , sprowadza się w praktyce do pomiaru impedancji Z_s pętli metalicznego zwarcia jednofazowego. Pomiary te wykonuje się na czynnych, znajdujących się pod napięciem urządzeniach elektrycznych. Pomiary te należy wykonywać z zachowaniem należytej ostrożności, przy użyciu specjalistycznych przyrządów pomiarowych.

1.2.3. Zasada pomiaru impedancji pętli zwarciovowej

Zasada pomiaru impedancji pętli zwarcia przedstawiona jest na rysunku 1.4.

Przed wykonaniem właściwego pomiaru należy sprawdzić ciągłość przewodów ochronnych, zamykając łącznik S_1 dla wykonania wstępnego zwarcia przez rezystor R_k , o znanej wartości. Prąd wstępnego zwarcia powinien być ograniczony do wartości około 20 mA. Jeżeli przy takim zwarciu wartość napięcia U_1 nie ulegnie zmniejszeniu (w stosunku do wartości wskazanej przed zamknięciem S_1), to należy uznać, że pętla zwarciovowa jest ciągła i jej opór nie jest nadmiernie duży.



Rys. 1.4. Zasada pomiaru impedancji pętli zwarcia metodą techniczną: R_z – rezystor do pomiaru rezystancji pętli zwarcia, X_z – reaktancja indukcyjna (cewka o indukcyjności L) do pomiaru reaktancji pętli zwarcia, R_k – rezystor do kontroli ciągłości pętli zwarcia

Po wykonaniu tego sprawdzenia można przystąpić do pomiaru impedancji pętli zwarcia. Badanie polega na dwukrotnym pomiarze napięcia: U_1 przed zwarcem (łącznik S_2 otwarty), U_2 – w czasie celowego zwarcia (łącznik S_2 zamknięty). W tym celu wykonuje się kontrolowane zwarcie przewodu fazowego obwodu zasilania urządzenia z jego częścią przewodzącą dostępną. Mierzy się natężenie prądu I_p celowego zwarcia. Prąd I_p oraz spadek napięcia $\Delta U = U_1 - U_2$ stanowią podstawę do wyznaczania oporu pętli zwarciovowej R_s , X_s lub Z_s .

Spadki napięcia na rezystancji i reaktancji obwodu zwarciovego określone są zależnościami

$$\Delta U_R = U_1 - U_{2R} = I_{pR} R_s \quad (2)$$

$$\Delta U_X = U_1 - U_{2X} = I_{pX} X_s \quad (3)$$

Dla wyznaczenia tych spadków napięcia wykonuje się kolejno celowe zwarcia przez rezystancję R_z i reaktancję X_z .

Wartości R_s i X_s oblicza się na podstawie wzorów

$$R_s = \frac{\Delta U_R}{I_{pR}} = \frac{U_1 - U_{2R}}{I_{pR}} = R_z \left(\frac{U_1}{U_{2R}} - 1 \right) \quad (4)$$

$$X_s = \frac{\Delta U_X}{I_{pX}} = \frac{U_1 - U_{2X}}{I_{pX}} = X_z \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \quad (5)$$

Z zależności (4) i (5) wyznacza się impedancję obwodu zwarciego

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2}$$

Opisana zasada jest wykorzystywana w budowie specjalistycznych przyrządów pomiarowych do wyznaczania oporu pętli zwarciowej.

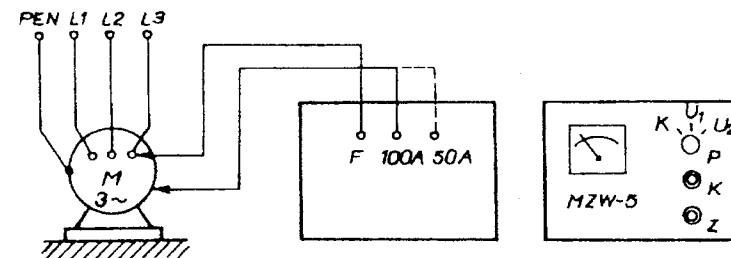
1.2.4. Pomiary impedancji pętli zwarcia miernikiem MZW-5

Miernik MZW-5 (rys. 1.5) służy do badania skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w sieciach o napięciu 380/220 V, mających bezpośrednio uziemiony punkt neutralny. Miernik ten pozwala wykonywać następujące pomiary:

- zmierzyć napięcie robocze sieci względem ziemi,
- sprawdzić ciągłość obwodu pętli zwarcia,
- zmierzyć impedancję pętli zwarcia,
- zmierzyć rezystancję uziemienia (pomiar o charakterze orientacyjnym).

Impedancję pętli zwarcia wyznacza się na podstawie pomiaru napięcia U_1 pomiędzy przewodem skrajnym a dostępną częścią przewodzącą (bez sztucznego zwarcia) oraz napięcia U_2 pomiędzy tymi punktami w czasie sztucznego zwarcia.

Załączanie i wyłączanie prądu zwarciowego (ograniczonego przez rezystor, który jest elementem składowym miernika) dokonuje się za pomocą stycznika, którego cewka zasilana jest impulsem wyzwalanym przyciskiem „ZWARCIE”.



Rys. 1.5. Sposób połączenia miernika MZW-5 z badanym urządzeniem. Opis symboli podano w tekście.

W zależności od używanych zacisków prąd sztucznego zwarcia wynosi 100 A lub 50 A, przy założeniu, że impedancja pętli zwarcia wynosi zero. Wartość prądu zwarciowego zależna będzie od wartości rezystancji rezystora, wyrażonej stałą obliczeniową K_1 dla układu z wykorzystaniem zacisku „50 A” lub stałą obliczeniową K_2 – z wykorzystaniem zacisku „100 A”.

Wartości stałych K_1 i K_2 podane są na płycie tylnej miernika.

Dane techniczne miernika MZW-5

Napięcie znamionowe sieci	220 V,
Częstotliwość znamionowa sieci	50 Hz,
Zakres pomiarowy napięcia U_1	300 V,
Klasa dokładności przy pomiarze napięcia	2,5%,
Zakres pomiaru rezystancji pętli zwarcia	0,02 ÷ 50 Ω ,
Błąd pomiaru impedancji pętli zwarcia	20%,
Prąd pomiarowy sztucznego zwarcia	
– przy wykorzystaniu zacisku „100 A”	$I_{p1} = 100$ A,
– przy wykorzystaniu zacisku „50A”	$I_{p2} = 50$ A,
Czas trwania sztucznego zwarcia	40 ÷ 60 ms,
Prąd znamionowy wkładki topikowej	
– przy wykorzystaniu zacisku „100 A”	$I_{b1} > 10$ A,
– przy wykorzystaniu zacisku „50 A”	$I_{b2} \leq 10$ A,
Klasa ochronności	II,
Wymiary gabarytowe	185 x 149 x 150 mm,
Masa	3,5 kg,
Napięcie probiercze	4 kV,
Stopień ochrony	IP 40.

Pomiar impedancji pętli zwarcia wykonuje się w następujący sposób:

- 1) Wykonać układ pomiarowy (wg rys. 1.5) stosując przewody: długość $L = 3$ m i rezystancja $R_p = 0,035 \Omega$ oraz długość $L = 6$ m i rezystancja $R_p = 0,06 \Omega$.
- 2) Dokonać pomiaru napięcia fazowego U_1 ustawiając łącznik „POMIAR” w pozycji U_1 .
- 3) Dokonać kontroli ciągłości badanego obwodu przez ustawienie przełącznika „POMIAR” w pozycji K, przy czym woltomierz powinien wskazywać napięcie równe napięciu fazowemu sieci U_1 . Gdy wskazanie woltomierza jest mniejsze niż 5% od wartości napięcia U_1 , dalszych pomiarów nie wolno wykonywać.
- 4) Ustawić przełącznik „POMIAR” w pozycji U_2 – wówczas wskazówka woltomierza powinna być w położeniu zero. Gdy wskazówka woltomierza nie znajduje się w tej pozycji, należy wówczas wyzerować miernik przez naciśnięcie przycisku „KASOWANIE”. Przycisk ten należy zwolnić wówczas, gdy wskazówka ustawi się w pozycji zero.
- 5) Po wyzerowaniu woltomierza nacisnąć przycisk „ZWARCIE” i odczytać napięcie „ U_2 ” przy maksymalnym wychyleniu wskazówki woltomierza. Pomiar napięcia „ U_2 ” wykonać należy trzykrotnie.
- 6) Na podstawie pomiarów „ U_1 ” i „ U_2 ” należy obliczyć wartość impedancji pętli zwarcia, odpowiednio do wartości prądu zwarcowego (100 A lub 50 A):

$$Z_p(50A) = K_1 \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right),$$

jeżeli odbiornik zabezpieczony jest wkładką topikową o prądzie znamionowym do 10 A, lub

$$Z_p(100A) = K_2 \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right),$$

jeżeli prąd znamionowy wkładki topikowej jest większy niż 10 A.

Jeżeli wartość zmierzonej impedancji pętli zwarcia jest mniejsza od 1Ω , należy od niej odjąć łączną wartość rezystancji przewodów użytych do wykonania pomiarów.

W przypadku gdy konieczny jest dokładniejszy pomiar impedancji pętli zwarcia, należy uwzględnić błąd metody pomiaru impedancji pętli zwarcia, polegający na wpływie kąta fazowego pętli zwarcowej (zależy od miejsca pomiaru w sieci elektroenergetycznej). Orientacyjną wartość kąta fazowego ustala osoba wykonująca pomiary, posługując się tablicą wartości poprawek impedancji.

1.2.5. Pomiary impedancji pętli zwarcia miernikiem MZC-1

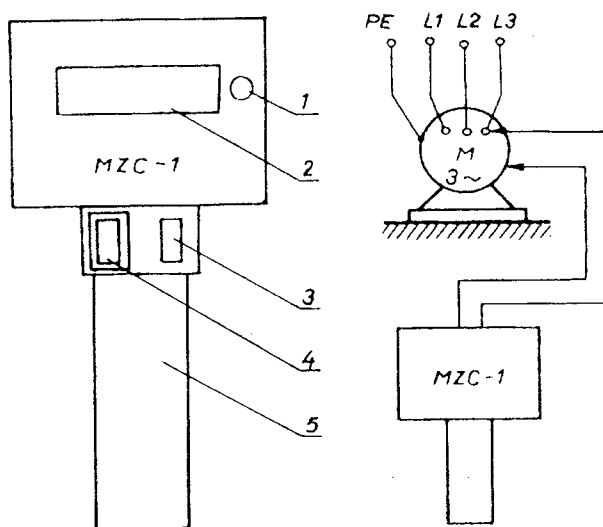
Przyrząd MZC-1 jest przeznaczony do badania kontrolnego ochrony przeciwporażeniowej w sieciach typu TN i TT. Przyrząd umożliwia wykonanie pomiarów:

- napięć fazowych i międzyprzewodowych sieci,
- rezystancji pętli zwarcia,
- rezystancji uziemienia.

Dane techniczne przyrządu MZC-1

Zakres pomiarowy napięcia	$0 \div 400$ V,
Zakres wskazań rezystancji pętli zwarcia	$0 \div 19,99 \Omega$,
Dopuszczalny względny błąd roboczy pomiaru napięcia	$\pm 2,5\%$,
Dopuszczalne względne błędy robocze pomiaru pętli zwarcowej :	
a) w zakresie $0,5 \div 1,0 \Omega$,	$\pm 10\%$,
b) w zakresie $1,0 \div 19,99 \Omega$	$\pm 5\%$,
Klasa ochronności	II
Napięcie probiercze izolacji	4 kV
Zasilanie – bateria 9 V, typ	6 F 22
Wymiary gabarytowe:	$23 \times 85 \times 230$ mm,
Masa	0,3 kg

Widok powierzchni czołowej przyrządu MZC-1 przedstawia rysunek 1.6. W środkowej części powierzchni znajduje się wyświetlacz ciekłokrystaliczny (2), umożliwiający cyfrowy odczyt mierzonego napięcia badanego obwodu i odczyt mierzonego oporu pętli zwarcowej sieci lub uziemienia oraz neonowa lampka tląca (1), sygnalizująca obecność napięcia na wejściu przyrządu. W dolnej części powierzchni czołowej znajduje się łącznik (4), służący do włączenia bateryjnego zasilania przyrządu oraz przycisk (3), służący do wykonywania wstępnej kontroli ciągłości obwodu zwarcowego i do inicjowania pomiaru rezystancji pętli zwarcowej. W rękojeści (5) przyrządu jest umieszczona bateria i bezpieczniki topikowe aparaturowe, zabezpieczające układy pomiarowe przyrządu. W celu wykonania pomiarów miernik MZC-1 należy podłączyć w sposób przedstawiony na rysunku 1.6.



Rys. 1.6. Widok powierzchni czołowej przyrządu MZC-1 (a) oraz sposób połączenia przyrządu (b): 1–neonówka, 2–wyświetlacz ciekłokrystaliczny, 3–przycisk zwarcowy „Z”, 4–włącznik zasilania, 5–rękojeść

Pomiary rezystancji pętli zwarcia jednofazowego w sieciach elektroenergetycznych z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym, w którym ochrona przeciwporażeniowa jest realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania, należy wykonać zgodnie z niżej podanymi dyspozycjami:

- 1) Jeden przewód połączeniowy przyrządu należy połączyć z częścią przewodzącą dostępną badanego urządzenia, a drugi przewód połączyć z przewodem fazowym obwodu zasilającego badane urządzenie, w sposób przedstawiony na rysunku 1.6. Świecenie neonówki świadczy o ciągłości pętli zwarcowej i upoważnia do wykonania dalszych czynności pomiarowych.
- 2) Należy włączyć zasilanie baterijne przyrządu. Przyrząd powinien wskazać napięcie robocze sieci U_1 .
- 3) Dokonać właściwej kontroli ciągłości pętli zwarcia przez naciśnięcie przycisku zwarcowego. Jeżeli napięcie wskazane przez woltomierz zmniejszy się o więcej niż 2 V, oznacza to, że rezystancja badanej pętli zwarcia jest nadmiernie duża i dalszych pomiarów należy zaniechać. Gdy wskazanie woltomierza nie zmniejszy się więcej niż o 2 V uznaje się, że badany obwód jest ciągły. Należy wówczas wykonać sztuczne zwarcie poprzez naciśnięcie przycisku zwarcowe-

go i odczytać zmierzoną wartość rezystancji R_p pętli zwarcowej. Wartość rezystancji R_p jest zapamiętana przez układ pomiarowy i wskazana przez przyrząd przez około 4 s.

- 4) Wykonanie powtórnego pomiaru rezystancji pętli zwarcia jest możliwe, gdy przyrząd zacznie wskazywać wartość napięcia U_1 sieci. W tym stanie naciśnięcie i zwolnienie przycisku zwarcowego powoduje uruchomienie układu sterowania i wykonanie ponownego sztucznego zwarcia.

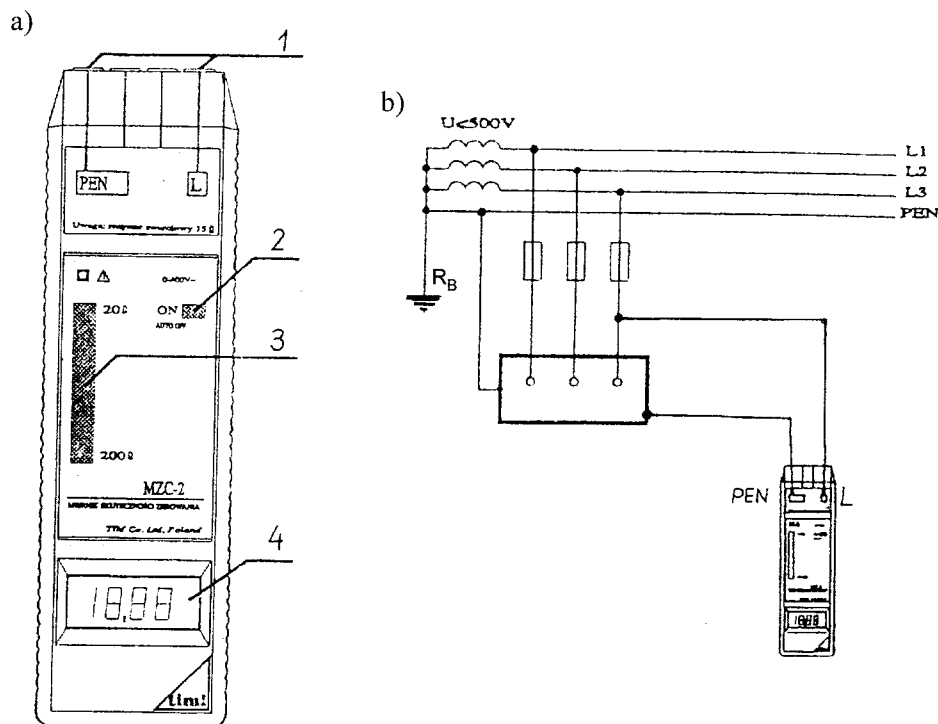
1.2.6. Pomiar rezystancji pętli zwarcia miernikiem MZC-2

Przyrząd MZC-2 jest przeznaczony do powszechnych badań kontrolnych samoczynnego wyłączenia zasilania w sieciach elektroenergetycznych typu TN i TT. Przyrząd umożliwia wykonanie pomiarów:

- napięć fazowych i międzyprzewodowych sieci,
- rezystancji pętli zwarcia,
- rezystancji uziemienia.

Dane techniczne przyrządu MZC-2

Zakres napięć znamionowych badanych obwodów	
dla pomiaru rezystancji pętli	50 ÷ 400 V
Zakres pomiarowy napięcia	0 ÷ 500 V
Zakres wskazań rezystancji pętli zwarcia	0 ÷ 199,9 Ω
Dopuszczalne względne błędy robocze pomiaru rezystancji pętli zwarcia:	
a) w zakresie 0 ÷ 0,5 Ω ± 0,15 Ω ± 1 cyfra	
b) w zakresie 0,5 ÷ 1,0 Ω ± 5 % ± 1 cyfra	
c) w zakresie 1,0 ÷ 19,99 Ω zakresu 20 Ω ± 2,5% ± 1 cyfra	
d) w zakresie 10 ÷ 199,99 Ω zakresu 200 Ω ± 2,5% ± 1 cyfra	
Napięcie probiercze izolacji	– 4 kV
Klasa ochronności	– II
Zasilanie	– bateria 9 V typ 6F22



Rys. 1.7. Widok powierzchni czołowej przyrządu MZC-2 (a) oraz sposób połączeń przyrządu (b) (opis w tekście)

Widok powierzchni czołowej przyrządu MZC-2 przedstawia rysunek 1.7. W dolnej części powierzchni znajduje się wyświetlacz ciekłokrystaliczny (4), umożliwiający cyfrowy odczyt mierzonego napięcia badanego obwodu oraz odczyt mierzonej rezystancji pętli zwarcia sieci lub uziemienia. W środkowej części powierzchni czołowej znajduje się przycisk (2), służący do włączania przyrządu oraz dwupołożeniowy klawisz (3) służący do inicjowania pomiaru rezystancji pętli zwarcia i wyboru zakresu pomiarowego. W części czołowej znajdują się gniazda przewodów pomiarowych (1).

Pomiary rezystancji pętli zwarcia jednofazowego w sieciach elektroenergetycznych z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym, w którym ochrona przeciwporażeniowa jest realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania w układzie sieci TN i TT należy wykonać zgodnie z niżej podanymi dyspozycjami.

1. Jeden przewód przyłączeniowy przyrządu należy połączyć z chronioną obudową badanego urządzenia, a drugi przewód połączyć z przewodem fazowym obwodu zasilającego badane urządzenie w sposób przedstawiony na rysunku 1.7.
2. Włączyć zasilanie bateryjne przyrządu (ON). Przyrząd powinien wskazać napięcie robocze sieci U_1 .
3. Wykonać sztuczne zwarcie przyciskając klawisz pomiarowy wybranego zakresu i odczytać zmierzoną wartość rezystancji R_p pętli zwarcia. Wartość rezystancji R_p jest wskazywana przez około 3 s po zwolnieniu przycisku. Wykonanie powtórnego pomiaru rezystancji pętli zwarcia jest możliwe, gdy przyrząd zacznie wskazywać wartość napięcia U_1 sieci.
4. Dokonać oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.

1.2.7. Ocena skuteczności działania urządzeń ochronnych

Ocena skuteczności działania urządzeń ochronnych przetężeniowych polega na stwierdzeniu, na podstawie wykonanych oględzin i pomiarów czy spełniają one wymagania normy PN-92/E-05009 w zakresie ochrony przeciwporażeniowej.

Uwagi, spostrzeżenia i wnioski z przeprowadzonych pomiarów powinny być ujęte w protokole z badań poszczególnych urządzeń przetężeniowych. Protokół powinien zawierać odpowiednie zalecenia dla użytkownika, jeżeli środki te nie spełniają wymagań wymienionej normy.

1.3. Program ćwiczenia

W czasie ćwiczenia należy

- zapoznać się z budową i instrukcją obsługi mierników,
- wykonać pomiar impedancji pętli zwarcia metoda techniczną oraz przyrządami pomiarowymi wskazanymi przez prowadzącego,
- ocenić skuteczność ochrony przeciwporażeniowej,
- powtórzyć badania po włączeniu w przewód PEN (PE) rezystora o oporności $2 \div 5 \Omega$, zwiększającego impedancję pętli zwarcia.

1.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki badań zestawić w tabelach. Porównać wyniki pomiarów różnymi przyrządami pomiarowymi oraz podać wnioski dotyczące:

- zalet i wad oraz zakresu stosowania różnych przyrządów pomiarowych do wyznaczania oporu pętli zwarcia,
- warunków skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w sieci TN z wykorzystaniem urządzeń ochronnych przetężeniowych,
- oceny skuteczności ochrony przeciwporażeniowej badanych odbiorników.

Ćwiczenie 2

BADANIE SKUTECZNOŚCI OCHRONY PRZED DOTYKIEM POŚREDNIM W UKŁADZIE Z WYŁĄCZNIKIEM RÓŻNICOWOPRĄDOWYM

2.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania, sposobu instalowania, badania i kontroli wyłączników różnicowoprądowych oraz badania skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim (jako uzupełnienie tej ochrony) i pośrednim, przy stosowaniu tych wyłączników. Ćwiczenie ma również na celu przyswojenie techniki pomiarów doziemnych prądów upływowych w instalacjach niskiego napięcia. W czasie ćwiczenia należy zmierzyć wartości prądów upływowych odbiorników elektrycznych niskiego napięcia oraz wykonać badanie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej układu z wyłącznikiem różnicowoprądowym.

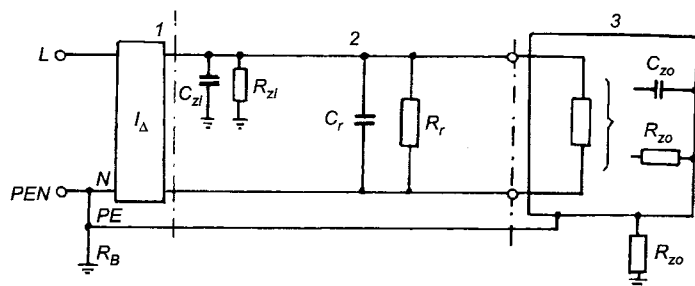
2.2. Wiadomości podstawowe

Doziemne prądy upływowe. W instalacjach elektroenergetycznych i odbiornikach występują doziemne prądy upływowe, spowodowane doziemną rezystancją R_{zl} i pojemnością C_{zl} , wszystkich elementów instalacji oraz rezystancją R_{zo} i pojemnością C_{zo} odbiornika (rys. 2.1). Prądy zamykające się przez rezystancje R_r i pojemność C_r pomiędzy poszczególnymi przewodami instalacji nie są badane w ćwiczeniu, gdyż nie mają one wpływu na działanie wyłącznika różnicowoprądowego.

Doziemne prądy upływowe w instalacjach elektroenergetycznych i odbiornikach nie mogą być całkowicie wyeliminowane. Należy je więc uwzględnić przy doborze wyłączników różnicowoprądowych (I_{Δ}). Przepisy podają dopuszczalne

wartości prądów upływowych równe $1 \div 2$ mA w instalacjach niskiego napięcia w pomieszczeniach suchych, przejściowo wilgotnych i zapyłonych.

W pomieszczeniach wilgotnych, bardzo wilgotnych i w pomieszczeniach z wywiewami żrącymi oraz na zewnątrz pomieszczeń wartość rezystancji izolacji instalacji elektroenergetycznej powinna zapewnić bezpieczne użytkowanie tej instalacji.

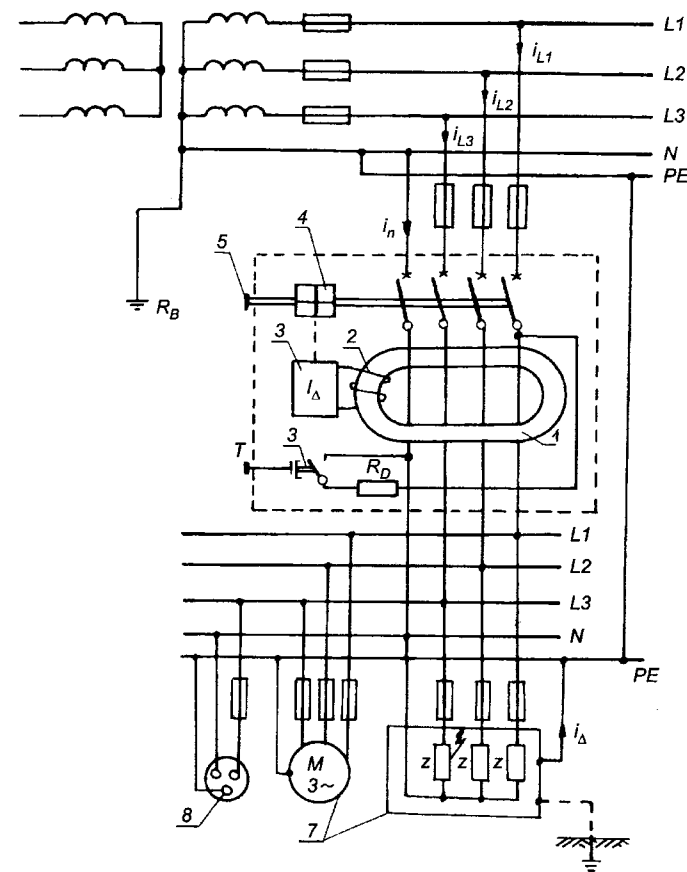


Rys. 2.1. Rezystancje i pojemności doziemne oraz międzyprzewodami w instalacji elektrycznej i odbiorniku: 1-rozdzielnica, 2-linia odbiorcza, 3-odbiornik, I_{Δ} – wyłącznik różnicowoprądowy (sieć TN-C-S)

W elektrycznych przyrządach powszechnego użytku określonej klasy prąd upływowy nie powinien przekraczać następujących wartości:

- dla przyrządów klasy 0, 0I i III – 0,5 mA,
- dla przyrządów klasy I – 0,75 mA,
- dla przyrządów klasy I z napędem – 3,5 mA,
- dla przyrządów stałych klasy I grzejnych z odejmowalnymi lub wyłączalnymi oddzielnie elementami grzejnymi – 1 kW mocy znamionowej poszczególnego elementu lub grupy elementów, w zależności od tego, która wartość jest większa, lecz nie więcej niż 5 mA dla całego przyrządu
- dla pozostałych przyrządów stałych klasy I grzejnych – 0,75 mA lub 0,74 mA na 1 kW mocy znamionowej, w zależności od tego, która wartość jest większa, lecz nie więcej niż 5 mA
- dla przyrządów klasy II – 0,25 mA.

Wyłączniki różnicowoprądowe (urządzenia ochronne różnicowoprądowe) I_{Δ} jako środek ochrony przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) zapobiegający niebezpiecznym skutkom dotknięcia części przewodzących dostępnych w przypadku pojawienia się na nich napięcia w warunkach zakłóceń mogą być stosowane we wszystkich układach sieciowych (TN, TT, IT), niezależnie od napięcia znamionowego.



Rys. 2.2. Wyłącznik różnicowoprądowy trójfazowy czterobiegunowy o działaniu bezpośrednim (zasada budowy i sposób instalowania w sieci TN-C-S): 1-przekładnik sumujący Ferrantiego, 2-uzwojenie różnicowe przekładnika, 3-przekaźnik różnicowoprądowy, 4-zamek wyłącznika, 5-dźwignia załączająca, 6-przycisk kontrolny, 7- części przewodzące dostępne, 8-styk ochronny gniazda wtyczkowego, R_{Δ} – opornik ograniczający

Zasadę działania i budowy wyłączników różnicowoprądowych przedstawiono na rysunku 2.2. W warunkach pracy normalnej suma geometryczna prądów przepływających przewodami fazowymi i przewodem neutralnym jest równa zero, a więc

$$i_{L1} + i_{L2} + i_{L3} + i_N = 0 \quad (2.1)$$

Pomiar prądu upływowego polega na pomiarze za pomocą przekładnika Ferrantiego sumy geometrycznej prądów płynących we wszystkich przewodach fazowych i przewodzie neutralnym. Jeżeli w obwodzie chronionym wystąpi uszkodzenie izolacji wywołujące przepływ prądu i_{Δ} przewodem PE lub do ziemi w obwodzie magnetycznym przekładnika pojawi się przemienny strumień magnetyczny indukujący napięcie w obwodzie przekładnika różnicowoprądowego. Jeżeli wartość prądu zadziałania I_{Δ} przekroczy wartość prądu pobudzenia przekładnika, to następuje jego zadziałanie wywołujące wyłączenie wyłącznika. Dla prądu i_{Δ} przemiennego sinusoidalnego prąd wyzwalający wyłącznik różnicowoprądowy musi zawierać się w przedziale od 0.5 do jednokrotnej wartości znamionowego różnicowego prądu zadziałania ($I_{\Delta n}$).

Do kontroli sprawności technicznej wyłącznika służy przycisk kontrolny T . Jego naciśnięcie oznacza zamodelowanie uszkodzenia obwodu i powinno spowodować bezzwłoczne zadziałanie wyłącznika.

Wyłączniki różnicowoprądowe są budowane na różne wartości prądu znamionowego różnicowego zadziałania, a mianowicie 6, 10, 30, 100, 300, 500 mA. Wyłączniki o prądzie wyzwalającym 10 i 30 mA określa się jako wysokoczułe, a wyłączniki o prądzie 300 mA i większym jako niskoczułe, w zasadzie nie przeznaczone do stosowania jako zabezpieczenie przeciwporażeniowe. Mogą natomiast stanowić dobre zabezpieczenie przed wybuchem pożaru na skutek uszkodzenia instalacji powodującego przepływ upływowych prądów doziemnych.

Wyłącznik różnicowoprądowy spełnia swoją funkcję ochronną pod warunkiem prawidłowego stosowania go w instalacji elektroenergetycznej. Podstawowym warunkiem, który instalacja taka musi spełniać, jest przyłączenie wszystkich dostępnych części przewodzących urządzeń elektroenergetycznych chronionych przez wyłącznik, do przewodu ochronnego PE (a nie do przewodu ochronno-neutralnego PEN).

W sieci TN warunek skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim będzie zapewniony przy spełnieniu warunku

$$Z_s \cdot I_a \leq U_o \quad (2.2)$$

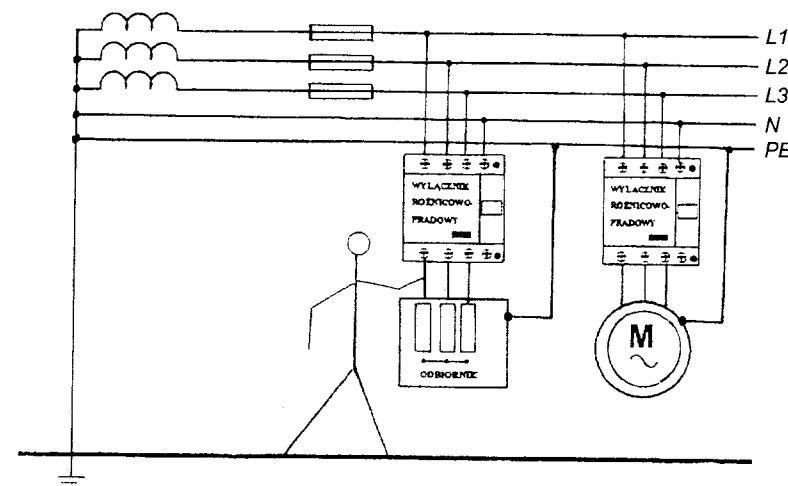
gdzie:

Z_s – impedancja pętli zwarciowej obejmującej źródło zasilania, przewód roboczy aż do punktu zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem,

I_a – prąd powodujący samoczynne zadziałanie urządzenia wyłączającego ($I_a = I_{\Delta n}$),

U_o – napięcie znamionowe względem ziemi.

Wyłącznik różnicowoprądowy jako środek uzupełniający ochrony przed dotykiem bezpośrednim. Wyłączniki różnicowoprądowe o prądzie $I_{\Delta n} \leq 30$ mA są wymieniane jako ochrona uzupełniająca przed dotykiem bezpośrednim (p. 412.5 normy PN-92/E-05009/41). Są one jednak nie tylko ochroną uzupełniającą w przypadku dotyku bezpośredniego przedstawionego na rysunku 2.3.

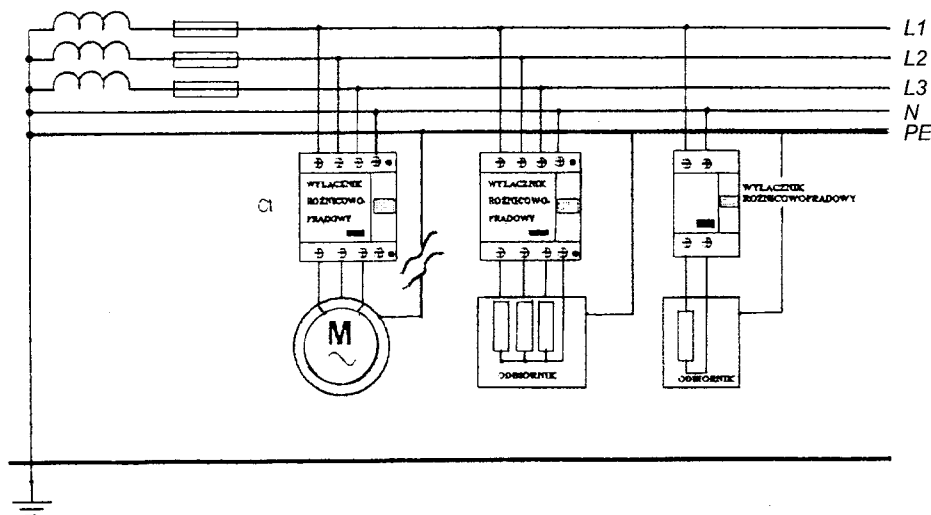


Rys. 2.3. Rażenie bezpośrednie na skutek dotknięcia przewodu o uszkodzonej izolacji. Wyłączniki o $I_{\Delta n} \leq 30$ mA stanowią ochronę uzupełniającą (sieć TN-S)

Wyłącznik różnicowoprądowy na rysunku 2.3 stanowi ochronę przeciwporażeniową dodatkową w przypadku uszkodzenia izolacji odbiornika (ochrony pod-

stawowej) oraz ochronę uzupełniającą w przypadku dotknięcia przewodu o uszkodzonej izolacji.

Na rysunku 2.4 przedstawiono przypadek zaistnienia przerwy w przewodzie ochronnym. Wyłącznik różnicowoprądowy stanowiący ochronę przeciwporażeniową dodatkową przed zaistnieniem przerwy w przewodzie ochronnym, kwalifikowany jest jako ochrona uzupełniająca, jeżeli nastąpi przerwanie przewodu ochronnego ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$).



Rys. 2.4. Wyłącznik różnicowoprądowy (a) jako środek ochrony uzupełniającej w przypadku przerwy w przewodzie ochronnym ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$). Sieć TN-S.

Wyłącznik różnicowoprądowy o $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$ może stanowić również ochroną uzupełniającą w przypadku uszkodzenia izolacji w urządzeniu II klasy ochronności a nawet w przypadku gdy urządzenie odbiorcze, objęte ochroną przeciwporażeniową za pomocą wyłącznika różnicowoprądowego, wpadnie do wody w wannie kąpielowej. Uzasadnionym jest więc zaliczać te wyłączniki różnicowoprądowe do uzupełniającej ochrony przeciwporażeniowej.

2.3. Program ćwiczenia

Podczas ćwiczenia należy wykonać:

- 1) Pomiary prądów upływowych wybranych przyrządów; prąd upływowy należy zmierzyć między każdym biegunem sieci zasilającej a:
 - dostępnymi dla dotyku częściami metalowymi i połączonymi z nimi odcinkami folii metalowej o powierzchni nie przekraczającej $20 \times 10 \text{ cm}$, stykającej się z dostępnymi dla dotyku częściami obudowy z materiału izolacyjnego,
 - częściami metalowymi w przyrządach klasy II oddzielonymi od części pod napięciem tylko izolacją podstawową.
 Pomiary wykonuje się według schematów przedstawionych na rysunku 2.5. Przyrządy grzejne, poza przyrządami silnikowo-grzejnymi, powinny pracować przy załączonych wszystkich elementach grzejnych przy zasilaniu takim napięciem, aby przyrząd pobierał moc równą 1,15 maksymalnej mocy znamionowej. Przyrządy z napędem i przyrządy silnikowo-grzejne powinny pracować przy zasilaniu napięciem równym 1,06 napięcia znamionowego.
- 2) Pomiar prądu upływu w instalacji należy poprzedzić pomiarem rezystancji izolacji a następnie wykonać badania w układzie przedstawionym na rysunku 2.6. Na rysunku tym oporniki regulowane modelują stopniowe „pogarszanie się” skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim (izolacji odbiornika i przewodów zasilających). Przed pomiarami należy wykonać przerwę w przewodzie N, załączyć wszystkie odbiorniki i załączyć napięcie na przewód L poprzez wielozakresowy miliamperomierz. Pomiary wykonać dla różnych wartości rezystancji R.
- 3) Sprawdzenie działania wyłącznika różnicowoprądowego za pomocą przycisku kontrolnego „TEST”. Po naciśnięciu przycisku kontrolnego oznaczonego symbolem „T” lub napisem „TEST”, sprawny, prawidłowo zainstalowany i zasilany (będący pod napięciem) wyłącznik musi natychmiast zadziałać. Jeżeli po naciśnięciu przycisku „T” („TEST”) wyłącznik nie zadziała (nie wyłączy), należy odstąpić od dalszych badań i orzec jego niesprawność. Należy zwrócić uwagę, że sprawdzenie przez naciśnięcie przycisku „TEST” nie jest wystarczające przy wykonywaniu badania eksploatacyjnego ochrony przeciwporażeniowej.
- 4) Sprawdzenie działania wyłącznika różnicowoprądowego przy płynnym narastaniu prądu uszkodzeniowego (pomiarowego). Badania należy wykonać

w układzie według rysunku 2.7 przy użyciu rezystora R_p o zmiennej, płynnie regulowanej rezystancji oraz miliamperomierza. Wartość rezystancji należy dobrać tak, aby:

$$R_{p \max} \geq \frac{U_o}{0,2 I_{\Delta n}},$$

$$R_{p \max} \leq \frac{U_o}{1,2 I_{\Delta n}},$$

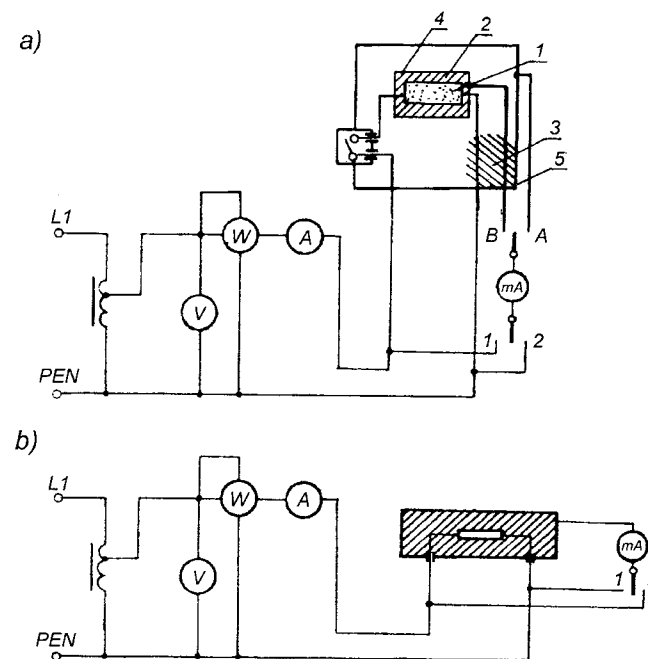
gdzie:

U_o – napięcie znamionowe sieci względem ziemi,

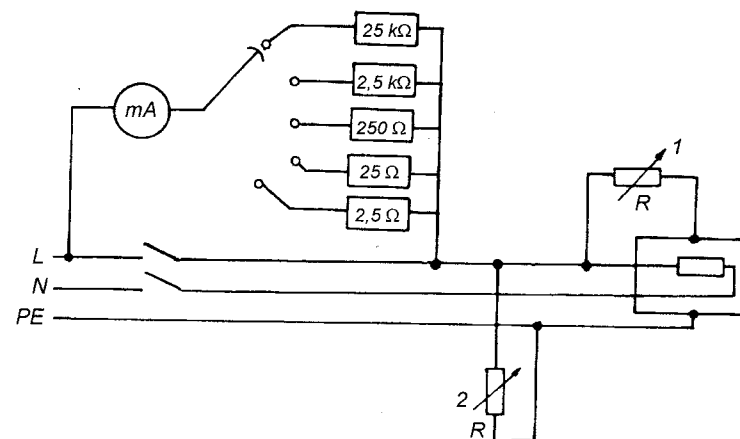
$I_{\Delta n}$ – znamionowy różnicowy prąd wyzwalający wyłącznika.

Dla wyłącznika o znamionowym prądzie $I_{\Delta n} = 30$ mA wartości R_p wynoszą odpowiednio 36,7 k Ω i 6 k Ω . W czasie pomiarów należy zwiększyć prąd pomiarowy od wartości 0,2 $I_{\Delta n}$ do 0,5 $I_{\Delta n}$. Wyłącznik nie powinien wyłączyć. Przy wartości prądu pomiarowego równej 0,5 $I_{\Delta n}$ należy przerwać obwód prądu łącznikiem s a następnie ponownie go zamknąć. Wyłącznik nie powinien wyłączyć (zadziałać). Następnie w dalszym ciągu płynnie (bez przerw) zwiększać wartość prądu aż do zadziałania wyłącznika. Prąd zadziałania wyłącznika I_{Δ} musi być większy od 0,5 I_{Δ} , jednak nie większy od $I_{\Delta n}$.

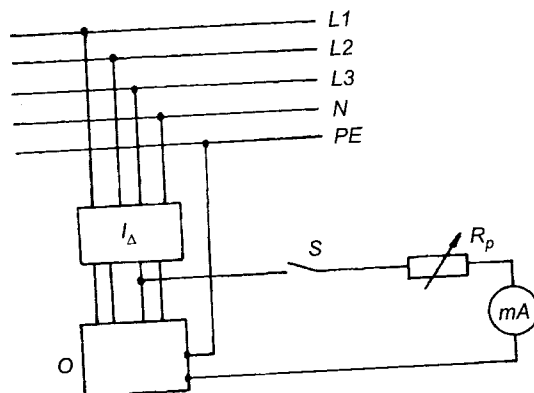
- 5) Ocenić skuteczność ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim w układzie z wyłącznikiem różnicowoprądowym (wzór 2.2). Wskazane przez prowadzącego urządzenia należy połączyć według rysunku 2.7 (bez obwodu z opornikiem R_p).



Rys. 2.5. Układy do pomiarów doziemnych prądów upływowych w temperaturze roboczej dla przyrządów jednofazowych klasy II (a) oraz innych niż klasy II (b): 1–część czynna, 2–izolacja podstawowa, 3–izolacja dodatkowa, 4–niedostępna część metalowa, 5–dostępna część metalowa



Rys. 2.6. Układ do pomiaru prądu upływu w instalacji (model linii): 1–obniżanie rezystancji izolacji odbiornika, 2–obniżanie rezystancji izolacji linii zasilającej



Rys. 2.7. Układ do badania poprawności działania wyłącznika różnicowoprądowego w sieci TN-S (TN-C-S);
O – odbiornik, I_{Δ} – wyłącznik różnicowoprądowy

2.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki badań zestawzić w tabelach. Wykonać charakterystykę prądu upływowego w funkcji czasu dla zbadanego oporowego urządzenia grzejnego. Podać wnioski dotyczące:

- wpływu prądów upływowych na pracę wyłącznika różnicowoprądowego,
- pracy wyłącznika różnicowoprądowego jako środka ochrony przed dotykiem pośrednim i środka ochrony uzupełniającej,
- prawidłowości działania i instalowania badanych wyłączników różnicowoprądowych
- możliwości i celowości stosowania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych w porównaniu z innymi środkami ochrony przed dotykiem pośrednim.

Ćwiczenie 3

BADANIE ZAGROŻENIA PORAŻENIOWEGO

3.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z kryteriami oceny zagrożenia porażeniowego oraz z metodami pomiaru napięcia dotykowego, rażeniowego dotykowego i rezystancji stanowiska.

3.2. Wiadomości podstawowe

Praca przy urządzeniach elektrycznych może wywołać niebezpieczne dla ludzi skutki w wyniku działania pola elektromagnetycznego, pośredniego działania prądów zakłóceń oraz bezpośredniego przepływu prądu przez organizm ludzki. Działania bezpośrednie prądu, powstające przy zetknięciu się człowieka z co najmniej dwoma punktami mającymi różne potencjały, są często groźne dla zdrowia, a nawet życia ludzkiego. Dlatego też przy ocenie zagrożenia porażeniowego rozważane są głównie skutki bezpośredniego działania prądu na ludzi. Skutki porażenia prądem elektrycznym zależą głównie od:

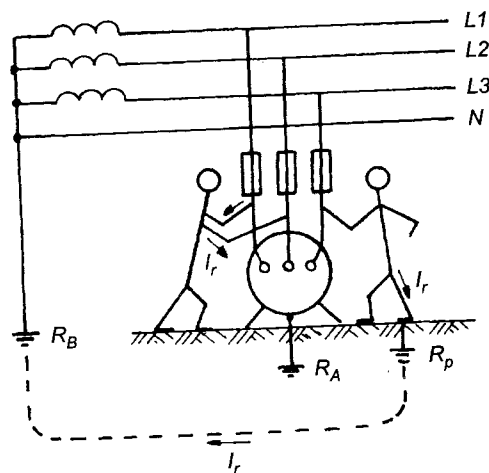
- natężenia prądu przepływającego przez organizm ludzki,
- czasu przepływu prądu,
- drogi przepływu prądu w organizmie.

Natężenie prądu płynącego przez organizm przy dotknięciu części będących pod napięciem zależy od:

- napięcia zasilającego obwód prądowy, w którym znajduje się ciało człowieka,
- rezystancji ciała człowieka,
- rezystancji pozostałych części obwodu,
- pojemności (przy prądzie przemiennym) i upływności w sieciach o izolowanym punkcie neutralnym.

Napięcie dotykowe, napięcie krokowe. Istotny wpływ na warunki rażenia ma sposób, w jaki ciało człowieka zostaje włączone w obwód elektryczny. Z tego punktu widzenia konieczne jest rozróżnienie dwóch rodzajów rażeń (rys. 3.1 i 3.2):

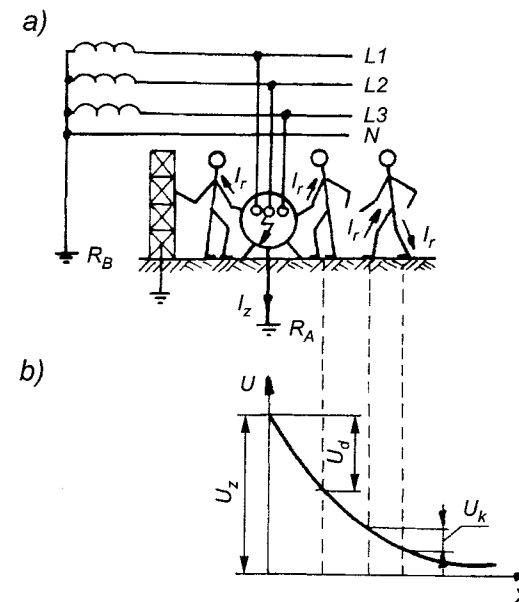
- rażenia w następstwie bezpośredniego zetknięcia się człowieka z częściami urządzeń elektrycznych znajdujących się normalnie pod napięciem (dotyk bezpośredni do części czynnych),
- rażenia w następstwie zetknięcia się człowieka z częściami przewodzącymi dostępnymi lub częściami przewodzącymi obcymi, na których pojawiło się napięcie w wyniku uszkodzenia ochrony podstawowej (izolacji).



Rys. 3.1. Rażenie w następstwie dotyku do części czynnych (uszkodzona ochrona podstawowa – izolacja przewodu): I_r – prąd rażeniowy, R_p – rezystancja przejścia (rezystancja obuwia i rezystancja stanowiska)

W pierwszym przypadku człowiek jest włączony do obwodu elektrycznego bezpośrednio na napięcie robocze międzyprzewodowe lub fazowe. Przy rażeniu napięciem międzyprzewodowym o określonej wartości na drodze ręka–ręka wartość prądu rażeniowego zależy jedynie od rezystancji ciała człowieka. Przy rażeniu napięciem fazowym na drodze ręka–nogi prąd rażeniowy zależy nie tylko od rezystancji ciała człowieka, lecz także od rezystancji stanowiska, która w bardzo korzystnych warunkach może być na tyle duża, że może skutecznie ograniczyć prąd rażeniowy do wartości nie zagrażającej zdrowiu lub życiu człowieka.

W drugim przypadku człowiek pośrednio styka się z elementami obwodu elektrycznego znajdującymi się pod napięciem roboczym. Jego ciało bocznikuje niektóre elementy tego obwodu i w związku z tym człowiek jest zwykle narażony na działanie napięcia mniejszego niż fazowe napięcie robocze sieci.



Rys. 3.2. Rażenie napięciem dotykowym i krokowym w wyniku uszkodzenia ochrony podstawowej (izolacji silnika): a) szkic sytuacyjny, b) rozkład potencjału w obrębie stanowiska roboczego: U_z – napięcie uszkodzenia, U_d – napięcie dotykowe, U_k – napięcie krokowe

W przypadku uszkodzenia izolacji roboczej (rys. 3.2a) – przez uziemiony korpus urządzenia przepływa prąd uziomowy I_z i w związku z tym na powierzchni gruntu wokół urządzenia powstaje rozkład potencjałów (rys. 3.2b). Na korpusie urządzenia występuje napięcie U_z względem ziemi odniesienia – nazywane niekiedy napięciem uszkodzenia o wartości

$$U_z = R_A I_z \quad (3.1)$$

zależnej od rezystancji R_A uziemienia ochronnego.

Człowiek stykający się z urządzeniem, rażony prądem $I_r \ll I_z$ na drodze ręka–nogi, jest poddany działaniu napięcia U_d , mniejszego niż napięcie U_z , nazywanego napięciem dotykowym. Gdy człowiek styka się jednocześnie z uszkodzonym urządzeniem i z obcym uziemionym przedmiotem przewodzącym, ulega rażeniu na drodze ręka–ręka, przy czym przy zetknięciu z dobrze uziemionym przedmiotem napięcie dotykowe może być równe napięciu korpusu urządzenia względem ziemi odniesienia. Ogólnie napięciem dotykowym nazywa się napięcie, które może pojawić się w warunkach zakłóceń między dwiema częściami jednocześnie dostępnymi, nie należącymi do obwodu elektrycznego.

Różnicę potencjałów między dwoma punktami (miejscami) na powierzchni gruntu – oddalonymi od siebie na odległość kroku – nazywa się napięciem krokowym (U_k na rys. 3.2). Zwykle przyjmuje się przy tym, że długość kroku człowieka wynosi 1 metr. Z możliwością niebezpiecznego napięcia rażenia na drodze noga–noga należy się liczyć w urządzeniach elektrycznych wysokiego napięcia, w których napięcie krokowe może osiągać wartości niebezpieczne dla zdrowia i życia ludzi. W urządzeniach niskiego napięcia porażenia w następstwie działania napięcia krokowego są mało prawdopodobne. Przyjmując oznaczenia:

R_c – rezystancja ciała ludzkiego,

R_p – rezystancja przejścia prądu z jednej stopy do ziemi,

I_{rd}, I_{rk} – prąd rażeniowy spowodowany napięciem dotykowym lub krokowym
możemy napisać:

$$U_d = (0,5R_p + R_c)I_{rd} \quad (3.2)$$

$$U_k = (2R_p + R_c)I_{rk} \quad (3.3)$$

Ze wzorów (3.2) i (3.3) wynika, że napięcie U_d i U_k jest sumą spadków napięcia na rezystancji przejścia i rezystancji ciała człowieka. Spadek napięcia na rezystancji R_c ciała człowieka podczas przepływu przez niego prądu rażeniowego jest nazywany napięciem rażeniowym. Przy niezmiennych wartościach U_d i U_k prąd rażeniowy zależy od rezystancji ciała człowieka i rezystancji przejścia prądu od stóp do ziemi. Rezystancja ciała człowieka nie jest łatwa do wyznaczenia ze względu na specyficzne własności poszczególnych tkanek i części organizmu.

Rezystancja człowieka po usunięciu naskórka wynosi około 1000Ω a nawet 500Ω i nieznacznie tylko zależy od temperatury i przyłożonego napięcia. Rezystancja naskórka zmienia się w szerokich granicach i zmniejsza się przy wzroście napięcia rażeniowego, przedłużaniu się czasu rażenia (działanie prądu), zwiększeniu siły docisku elektrod do skóry, zwiększeniu wilgotności naskórka. Największy wpływ na rezystancję naskórka ma wilgoć i to niezależnie od tego, czy jest ona pochodzenia zewnętrznego, czy też wywołana poceniem się człowieka. Dopuszczalna długotrwale wartość napięcia dotykowego wynosi 50 V. Napięcie to jest określane jako napięcie dotykowe bezpieczne, które może się długotrwale utrzymywać w określonych warunkach otoczenia. Wartość tego napięcia w warunkach szczególnego zagrożenia, scharakteryzowanego w arkuszach grupy 700 normy PN- /E-05009, wynosi 25 V.

Napięcie dotykowe i krokowe jest w przeważającej liczbie wypadków wyższe niż napięcie rażeniowe. Jest to spowodowane wystąpieniem rezystancji przejścia (R_p). Wartość jej składa się z rezystancji obuwi oraz rezystancji dla przepływu prądu w samym podłożu, zwanej rezystancją stanowiska. Rezystancja obuwi zależy od jego budowy i stanu, może być niewielka, ale może również osiągać wartości setek tysięcy omów. Rezystancja stanowiska zależy przede wszystkim od rezystywności materiału podłoża. Rezystancja ta może mieć wartość rzędu kilkunastu omów a nawet osiągać wartości wielu tysięcy kiloomów.

Zgodnie z normą PN-92/E-05009/41 w miejscach zainstalowania urządzeń elektroenergetycznych o napięciu znamionowym nie wyższym niż 1 kV rezystancja izolacji podłóg i ścian w każdym punkcie pomiarowym (warunki podane są w normie) nie powinna być mniejsza niż:

- 50 kΩ, jeżeli napięcie znamionowe instalacji nie przekracza 500 V,
- 100 kΩ, jeżeli napięcie znamionowe instalacji przekracza 500 V.

Podane wartości są wymagane, gdy jako środek ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej) stosowana jest izolacja stanowiska.

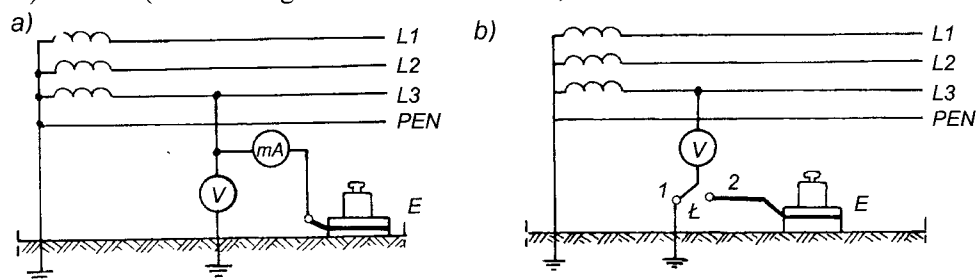
3.3. Program ćwiczenia

3.3.1. Pomiar rezystancji stanowiska

Pomiary należy wykonać w układach przedstawionych na rysunku 3.3 (metoda techniczna oraz metoda woltomierza) stosując specjalną elektrodę pomiarową (rys. 3.4).

W ćwiczeniu należy zbadać następujące podłoża:

- a) bez dodatkowych warstw nawierzchniowych (podłoże z parkietu),
- b) płyta betonowa sucha,
- c) płyta betonowa nasycona wodą,
- d) tłuczeń (warstwa o grubości około 100 mm).



Rys. 3.3. Układy do pomiaru rezystancji stanowisk: a) metoda techniczna, b) metoda woltomierza; E – elektroda pomiarowa (rys. 3.4)

Aby zamodelować warunki szczególnie niebezpieczne, podłoże wymienione

w punktach b), c), d) układa się na uziemionej płycie miedzianej (rezystancja uziemienia wynosi około 0,5 Ω).

W układzie pomiarowym elektroda E odwzorowuje styczność dwóch stóp ludzkich ze stanowiskiem. Powierzchnia elektrody wynosi 625 cm². W czasie pomiarów do elektrody należy przyłożyć siłę nie mniejszą niż 40 daN.

Metoda techniczna polega na pomiarze napięcia i prądu w układzie przedstawionym na rysunku 3.3a. Rezystancję stanowiska oblicza się z zależności

$$R_s = \frac{U - I_A R_a}{I_A} = \frac{U_v}{I_A} - R_a \quad (3.4)$$

w której:

- U – napięcie zasilające układ [V],
- I_A – prąd zmierzony przez miliamperomierz [A],
- R_a – rezystancja wewnętrzna miliamperomierza [Ω],
- U_v – napięcie zmierzone przez woltomierz [V].

Zwykle rezystancja miliamperomierza jest niewielka w porównaniu z rezystancją stanowiska i można przyjąć

$$R_s = \frac{U_v}{I_A} \quad (3.5)$$

Metoda woltomierza polega na pomiarze dwóch napięć w układzie przedstawionym na rysunku 3.3b. W położeniu 1 łącznika $\mathcal{L}$ mierzy się napięcie U_1 , w położeniu 2 – napięcie U_2 i na podstawie zmierzonych napięć wyznacza się rezystancję stanowiska ze wzoru

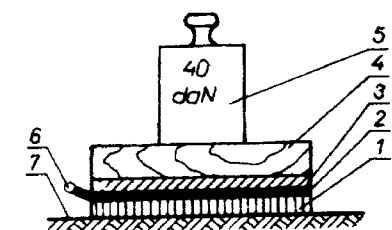
$$R_s = R_v \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \quad (3.6)$$

w którym R_v jest rezystancją wewnętrzną woltomierza.

W celu zapewnienia zadowalającej dokładności pomiarów należy stosować woltomierz wielozakresowy o bardzo dużej rezystancji wewnętrznej (około 1 kΩ/V).

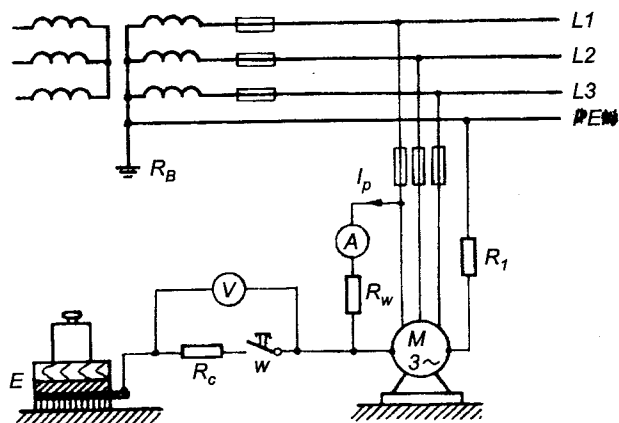
3.3.2. Pomiar napięcia dotykowego i rażeniowego dotykowego

Pomiary należy wykonać dla różnych rodzajów podłoża (p. 3.3.1) bez rezystora R_1 (rys. 3.5) oraz przy włączonym rezystorze o rezystancji $R_1 = 3$ oraz 6 Ω.



Rys. 3.4. Elektroda pomiarowa: 1-guma przewodząca o rezystywności nie przekraczającej 100 omometrów, 2-blacha mosiężna, 3-warstwa elastyczna, 4-sztwna płyta izolacyjna, 5-masa dociskająca elektrodę, 6-zacisk elektrody, 7-podłoże stanowiska

Regulacji prądu I_p (prąd pomiarowy w obwodzie sztucznego zwarcia) dokonuje się za pomocą rezystora wodnego (R_w). Pomiaru napięcia rażeniowego dotykowego dokonuje się włączając rezystor $R_c = 1\ 000\ \Omega$ do układu pomiarowego (wyłącznik w – włączony). Pomiaru napięcia dotykowego należy dokonać przy wyłączonym rezystorze R_c . Pomiaru impedancji pętli zwarcia układu należy dokonać miernikiem (ćwiczenie nr 1).



Rys. 3.5. Układ do pomiaru napięcia dotykowego i napięcia dotykowego rażeniowego

Po wykonaniu pomiaru przy prądzie I_p należy wartość zmierzonego napięcia przeliczyć na rzeczywiste warunki zwarcia, według wzoru

$$U_1 = U'_1 \frac{I_z}{I_p}, \quad (3.6)$$

w którym:

U'_1 – napięcie dotykowe lub rażeniowe dotykowe zmierzone przy prądzie

I_p ,

I_z – rzeczywisty prąd zwarcia.

Prąd I_z oblicza się z zależności

$$I_z = \frac{U_f}{Z_s}, \quad (3.7)$$

w której:

U_f – napięcie fazowe,

Z_s – impedancja pętli zwarcia.

3.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki badań zestawzić w tabelach. Podać szczegółową analizę i wnioski dotyczące wpływu podłoża na zagrożenie porażeniowe.

Ćwiczenie 4

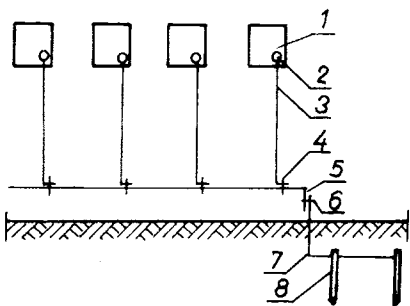
POMIARY REZYSTANCJI UZIEMIENIA I REZYSTYWNOCI GRUNTU

4.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z miernikami do pomiaru rezystancji uziemienia i rezystywności gruntu oraz z metodami pomiaru tych parametrów w warunkach terenowych.

4.2. Wiadomości podstawowe

Uziemieniem nazywa się elektryczne połączenie przedmiotu uziemianego z ziemią. Terminu uziemienie używa się także jako określenia urządzenia uziemającego, złożonego z uziomu lub układu uziomowego oraz przewodów uziomowych i przewodów uziemiających (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Części składowe urządzenia uziemającego: 1–część metalowa podlegająca ochronie, 2–zacisk uziemiający, 3–przewód uziemiający, 4–połączenie mechaniczne, 5–główny przewód uziemiający (szyna uziemiająca), 6–zacisk uziomowy, probierczy, 7–przewód uziomowy, 8–uziom

Uziom jest to przedmiot przewodzący, umieszczony w wierzchniej warstwie ziemi nazywanej gruntem i zapewniający połączenie elektryczne przedmiotów uziemianych z ziemią. **Układ uziomowy** jest to układ złożony z wielu uziomów połączonych elektrycznie, których konfiguracja w gruncie zapewnia wymaganą rezystancję uziemienia oraz wymagany rozkład potencjałów na powierzchni gruntu w czasie przepływu przez uziomy prądu, nazywanego prądem uziomowym. Rezystancja uziemienia definiowa-

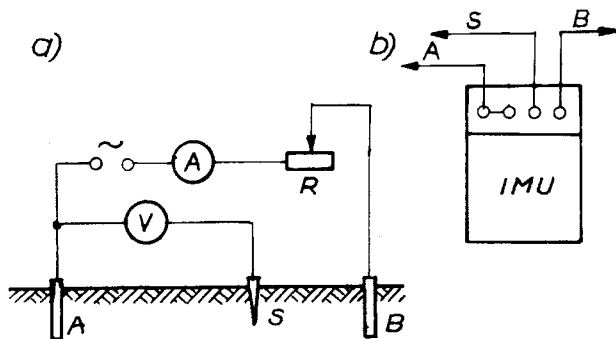
na jest jako stosunek wartości napięcia uziomu względem ziemi odniesienia do natężenia prądu spływającego z uziomu. Przez ziemię odniesienia rozumie się dowolne miejsce wierzchniej warstwy gruntu tak oddalone od urządzenia uziemającego, że jego potencjał elektryczny nie ulega zmianom pod wpływem zmian natężenia prądu uziomowego.

Ze względu na cel stosowania rozróżnia się uziemienia robocze, ochronne, odgromowe i pomocnicze. **Uziemienie robocze** jest to uziemienie określonego punktu obwodu elektrycznego w celu zapewnienia prawidłowej pracy urządzeń elektrycznych w warunkach normalnych i zakłóceńowych. **Uziemienie ochronne** stanowi środek dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej, polegający na połączeniu przedmiotów podlegających takiej ochronie z ziemią. **Uziemienie odgromowe** ma na celu odprowadzenie do ziemi udarowych prądów wyładowań atmosferycznych. **Uziemienie pomocnicze** jest to uziemienie niezbędne do pracy takich urządzeń zabezpieczających i pomiarowych, których prawidłowość działania w niewielkim stopniu zależy od rezystancji uziemienia mogącej osiągnąć wartości nawet setek omów. Do uziemień pomocniczych zalicza się np. uziemienia wykonywane przy pomiarach rezystancji uziemień.

Układy uziomowe powinny mieć odpowiednie do spełnianego przez nie zadania cechy w ciągu całego okresu eksploatacji urządzeń, których są częścią składową. Oddanie urządzeń elektroenergetycznych do eksploatacji powinno być poprzedzone odbiorem technicznym urządzeń uziemiających. Pomiary rezystancji uziemienia i rezystywności gruntu należą do podstawowych prób odbiorczych i eksploatacyjnych. Są one wykonywane w okresach największej rezystywności gruntu (latem w okresach największej suszy). W innych przypadkach należy stosować współczynnik zmian sezonowych rezystancji uziemień i rezystywności gruntu.

Pomiary rezystancji uziemienia. W celu zmierzenia rezystancji uziemienia uziomu należy zmierzyć jego napięcie względem ziemi odniesienia przy przepływie określonego prądu.

W celu utworzenia obwodu prądowego zamykającego się przez badany uziom I (rys. 4.2) wykonuje się uziom pomocniczy B , a w celu umożliwienia pomiaru napięcia względem ziemi pogrąża się w grunt, w dostatecznej odległości od obu uziomów (badanego i pomocniczego), sondę napięciową S .



Rys. 4.2. Zasada pomiaru rezystancji uziemienia uziomu (a) oraz sposób przyłączenia miernika IMU (b): A – uziom badany, B – uziom pomocniczy prądowy, S – uziom (sonda) napięciowy

Odległości między uziomem badanym, pomocniczym a sondą powinny być takie, aby sonda znajdowała się, praktycznie biorąc, w strefie potencjału zerowego. Wymagane odległości między uziomami podano w tabeli 4.1.

Rozpowszechnione metody pomiarów dzieli się na dwie grupy, zależnie od stosowanego źródła prądu pomiarowego i od wymaganych odległości między uziomem badanym (A) a uziomami pomocniczymi (B, S), to jest na:

- metody pomiarów przy niewielkim oddaleniu uziomów pomocniczych od uziomu badanego,
- metody pomiarów, w których są zastosowane znaczne odległości między uziomami.

Pomiary rezystancji uziemienia przy niewielkim oddaleniu uziomów pomocniczych od uziomu badanego przeprowadza się za pomocą specjalnych mierników uziemień (IMU), wyposażonych we własne źródło prądu, pozwalających na bezpośredni odczyt mierzonych wartości na skali miernika. Za pomocą niektórych przyrządów do pomiaru impedancji pętli zwarcia można wykonać dokładne pomiary rezystancji uziemienia metodą techniczną.

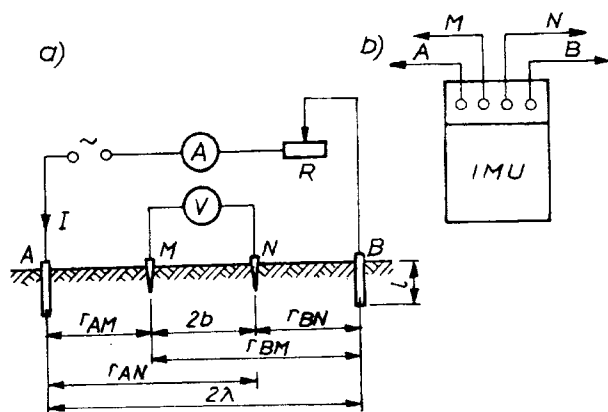
Pomiary rezystancji uziemienia przy zastosowaniu dużych odległości między uziomami (kilka kilometrów i większe), wykonuje się metodą techniczną w czasie przepływu prądów pomiarowych o natężeniu 30÷120 A. Praktycznie badania takie prowadzi się jedynie w stacjach elektroenergetycznych. Duże wartości prądu pomiarowego umożliwiają przeprowadzenie jednocześnie pomiarów napięć rażeniowych dotykowych i krokowych, występujących na terenie stacji oraz w jej najbliższym otoczeniu, wskutek tzw. „wynoszenia potencjałów”.

Tabela 4.1.
Wymagane odległości między uziomami przy technicznych pomiarach rezystancji uziemienia

Budowa uziomu badanego i pomocniczego	Najmniejsze odległości [m] lub odległości względne	
	przy położeniu sondy w jednej linii z uziomem badanym A i pomocniczym B	przy położeniu sondy poza linią łączącą uziom badany A i pomocniczy B
Uziom badany A i uziom pomocniczy B pojedyncze pionowe o $l \leq 3$ m	$A \geq 20 - S \geq 20 - B$	
Uziom badany A pionowy o $l \geq 3$ m, uziom pomocniczy B pionowy o $l \leq 3$ m	$A \geq 6l - S \geq 20 - B$	
Uziom badany A poziomy o $l \geq 10$ m, uziom pomocniczy B pionowy o $l \leq 3$ m.		
Uziom badany A wielokrotny, uziom pomocniczy pionowy pojedynczy o $l \leq 3$ m		

Pomiary rezystywności gruntu. W elektroenergetyce wyznacza się rezystywność gruntów w celu uzyskania podstawy do projektowania układów uziomowych. W niektórych przypadkach pomiary rezystywności gruntu mogą zastąpić eksploatacyjne kontrole rezystancji uziemienia uziomów.

Najczęściej stosowaną metodą pomiarów rezystywności gruntu jest metoda czterouziomowa Wennera. Uziomy (sondy) pomocnicze rozmieszczone są w linii prostej, przy różnych odległościach między sondami. Uziomy A i B (rys. 4.3), zwane prądowymi są zasilane ze źródła prądu stałego lub przemiennego. Wolto-mierzem przyłączonym do dwóch uziomów M i N umieszczonych na prostej, przechodzącej przez uziomy prądowe mierzymy napięcie między dwoma punktami na powierzchni gruntu. **Elektrody** M i N nazywa się uziomami lub sondami napięciowymi.



Rys. 4.3. Zasada pomiaru rezystywności gruntu metodą czterouziomową (a) oraz sposób przyłączenia miernika IMU (b); A, B – uziomy prądowe, M, N – uziomy napięciowe

Jeżeli założymy, że uziomy prądowe mają postać półkul i znajdują się w gruncie jednorodnym o rezystywności ρ , możemy wyrazić potencjały w punktach M i N spowodowane przepływem prądu I od uziomu A do B następującymi wzorami:

$$\varphi_M = \varphi_{MA} - \varphi_{MB} = \frac{\rho I}{2\pi r_{AM}} - \frac{\rho I}{2\pi r_{BM}} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right) \quad (4.1)$$

$$\varphi_N = \varphi_{NA} - \varphi_{NB} = \frac{\rho I}{2\pi r_{AN}} - \frac{\rho I}{2\pi r_{BN}} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad (4.2)$$

w których: $r_{AM}, r_{BM}, r_{AN}, r_{BN}$ – odległości oznaczone na rysunku 4.3.

Napięcie między uziomami M i N wynosi więc

$$U_{MN} = \varphi_M - \varphi_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}} \right) \quad (4.3)$$

Wynika z tego, że rezystywność gruntu wyraża się wzorem

$$\rho = 2\pi \frac{U_{MN}}{I} \left(\frac{1}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}}} \right) = k \frac{U_{MN}}{I} \quad (4.4)$$

Wartość współczynnika k , zwanego współczynnikiem układu uziomowego, zależy od odległości między uziomami pomiarowymi. W układzie czterouziomowym Wennera odległości między sąsiednimi uziomami są równe ($r_{AM} = 2b = r_{BN} = a$), a odległość między uziomami prądowymi $2\lambda = 3a$. Dla takiego rozstawienia uziomów wartość współczynnika układu pomiarowego k we wzorze (4.4) wynosi $2\pi a$.

W energoelektryce rozpowszechniła się metoda prądu przemiennego. Wykazuje się przy tym zwykle mierniki uziemień (IMU), wyposażone w cztery zaciski przyłączeniowe. Wskazania mierników wyrażają wartość ilorazu U_{MN}/I we wzorze (4.4).

Przy pomiarach w układzie pomiarowym Wennera rezystywność gruntu $\Omega \cdot m$ jest więc równa

$$\rho = 2\pi a R \quad (4.5)$$

gdzie:

a – odstęp sąsiednich uziomów [m],

R – wskazanie przyrządów [Ω].

Wzór (4.5) stosuje się przy założeniu $a > 10 l$ (l – głębokość pograżenia uziomu, rys. 4.3).

Grunt z reguły mają strukturę niejednorodną. Wyznaczona rezystywność jest wartością pozorną, zależną od rzeczywistej struktury gruntu i zastosowanej odległości a pomiędzy uziomami. Zmieniając odległość a można uzyskać informacje dotyczące struktury gruntu i rzeczywistych rezystywności poszczególnych warstw gruntu. Sposoby wyznaczania rezystywności i zastępczej struktury gruntu podano w pracy [29].

4.3. Program ćwiczenia

1. Dla wybranych układów uziomowych ustalić, zgodnie z tabelą 4.1, wymagane parametry układu pomiarowego – r_{AB}, r_{BS} . Dla ustalonej, stałej, wartości r_{AS} wykonać pomiary rezystancji uziemienia dla różnych wartości r_{BS} , przy rozmieszczeniu uziomów pomocniczych S, B wzdłuż linii prostej i w wierzchołkach trójkąta. Pomiary wykonać różnymi miernikami uziemień.

2. Wykonać pomiary rezystywności gruntu dla różnych odległości a pomiędzy uziomami pomocniczymi. Obliczyć pozorne rezystywności gruntu ρ i ustalić zależność ρ od zastosowanej odległości pomiędzy uziomami pomocniczymi.

4.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki pomiarów zestawić w tabelach. Podać wnioski dotyczące wpływu parametrów układu pomiarowego, rodzaju uziomów oraz głębokości ich ułożenia na wyniki pomiarów rezystancji uziemień. Wyjaśnić różnice wyników pomiarów wykonanych przy różnych odległościach pomiędzy uziomami pomocniczymi.

Ćwiczenie 5

POPRAWA WSPÓŁCZYNNIKA MOCY W URZĄDZENIACH ODBIORCZYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

5.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie wpływu obciążenia odbiorników elektrycznych na pobór mocy biernej oraz metod poprawy współczynnika mocy.

5.2. Wiadomości podstawowe

Większość odbiorników energii elektrycznej odznacza się pewną indukcyjnością. Należą do nich nie tylko silniki elektryczne, zwłaszcza słabo obciążone, i inne odbiorniki przemysłowe, lecz także instalacje oświetleniowe z lampami wyładowczymi, które łączy się w szereg z dławikami. Współczynnik mocy ($\cos \varphi$) takich odbiorników, gdyby nie stosowano specjalnych urządzeń kompensacyjnych, wynosiłby 0,55÷0,60. Mały współczynnik mocy odbiorników pociąga za sobą następujące skutki ujemne:

- wymaga zwiększenia mocy zainstalowanej elektrycznych urządzeń wytwórczych i przetwórczych, które są wymiarowane na rzeczywiste wartości prądów;
- zwiększa straty energii czynnej w transformatorach i liniach zasilających, gdyż straty te są proporcjonalne do kwadratu prądu rzeczywistego. Straty energii można wprowadzić zmniejszyć przez zastosowanie większych przekrojów przewodów, lecz jest to związane ze zwiększeniem kosztów urządzeń;
- powiększa spadki napięcia w sieciach i wymaga niekiedy stosowania dodatkowych, kosztownych urządzeń regulacyjnych.

Względy gospodarcze przemawiają za zmniejszeniem przesyłu mocy bierniej, czyli za powiększeniem współczynnika mocy.

Rozróżnia się naturalne i sztuczne sposoby poprawiania współczynnika mocy. Do **naturalnych** zalicza się sposoby nie wymagające instalowania urządzeń przeznaczonych do poprawiania współczynnika mocy, takie jak:

- właściwy dobór silników,
- ograniczenie pracy jałowej odbiorników reaktancyjnych,
- stosowanie silników synchronicznych zamiast indukcyjnych.

Sztuczne sposoby poprawy współczynnika mocy polegają na stosowaniu kompensatorów wirujących lub kondensatorów. W zakładach przemysłowych stosuje się niemal wyłącznie kondensatory.

Silniki pracujące przy małym obciążeniu pobierają większą moc bierną (rys. 5.1). Wartość współczynnika mocy silnika indukcyjnego zależy od szeregu czynników:

- a) mocy znamionowej P_n ,
- b) konstrukcji silnika (liczby par biegunów, typu wirnika, wielkości szczeliny między wirnikiem a stojanem),
- c) względnego obciążenia silnika (w stosunku do obciążenia znamionowego).

Największy wpływ na wartość współczynnika mocy ma obciążenie silnika.

Przy zmniejszeniu się obciążenia do wartości mniejszej niż $0,6 P_n$, współczynnik ten szybko maleje, szczególnie w przypadku silników o małej wartości znamionowego współczynnika mocy $\cos \varphi_n$ (małych wolno bieżnych i silników starej konstrukcji).

Silniki trójfazowe, mające uzwojenia połączone w trójkąt, mogą być przełączone do pracy w połączenie uzwojeń w gwiazdę. Moc silnika zmienia się w przybliżeniu proporcjonalnie do kwadratu napięcia. Ponieważ napięcie na każdym uzwojeniu, dzięki przełączeniu w gwiazdę, zmniejszy się $\sqrt{3}$ razy, zatem rozwijana moc zmniejszy się trzykrotnie, lecz przy niewielkim obciążeniu silnika poprawi się znacznie współczynnik mocy (rys. 5.2). Przełączenie silników w gwiazdę może być stosowane w tych przypadkach, w których silniki są stale lub okresowo słabo obciążone. W pierwszym przypadku przełączenia można dokonać na stałe, w dru-

gim trzeba zainstalować przełącznik umożliwiający pracę w połączeniu w gwiazdę tylko przy małych obciążeniach.

Pobór mocy bierniej przez silnik asynchroniczny, w zależności od obciążenia, można obliczyć z zależności:

$$Q = Q_o + (Q_n - Q_o) \left(\frac{P}{P_n} \right)^2 \quad (5.1)$$

w której:

Q_o – pobór mocy bierniej przy biegu jałowym,

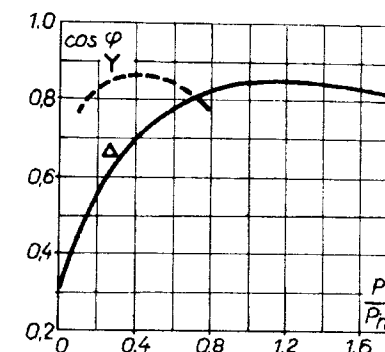
Q_n – pobór mocy bierniej przy obciążeniu znamionowym,

P – obciążenie mocą czynną,

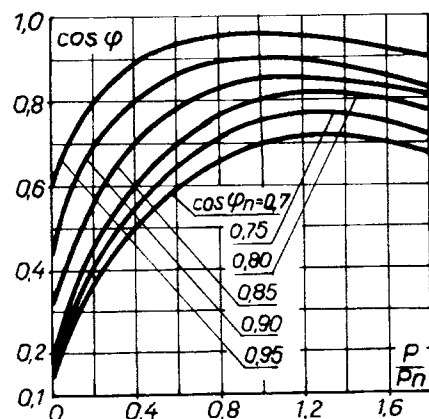
P_n – moc znamionowa silnika.

W przybliżeniu zachodzi zależność:

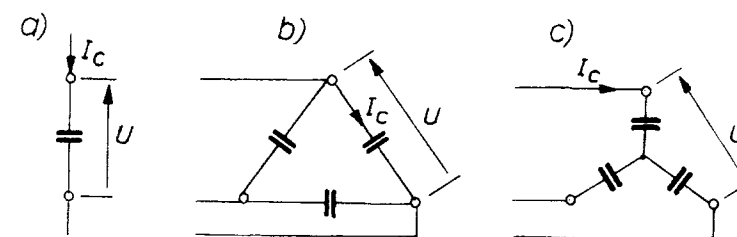
$$Q_o = (0,6 \div 0,7) Q_n.$$



Rys. 5.2. Zależność współczynnika mocy silnika indukcyjnego klatkowego od obciążenia przy połączeniu uzwojeń w gwiazdę i w trójkąt



Rys. 5.1. Zależność współczynnika mocy silników indukcyjnych od obciążenia



Rys. 5.3. Układy połączeń kondensatorów w sieci jednofazowej (a) i trójfazowej, połączenie w trójkąt (b), połączenie w gwiazdę (c)

Kondensatory stosowane do poprawy współczynnika mocy są produkowane jako papierowo-olejowe. W Polsce produkuje się kondensatory na napięcie do 1 kV o mocy od 2,5 do 25 kvar. W razie potrzeby stosowania większych mocy łączy się je w zestawy (baterie). Trójfazowe kondensatory na napięcie do 500 V są łączone w trójkąt (rys. 5.3). Postępuje się w ten sposób w celu lepszego wyzyskania pojemności kondensatorów.

Moc bierna kondensatora jednofazowego (rys. 5.3a)

$$Q_c = U I_c = \omega C U^2 \quad (5.2)$$

gdzie:

U – napięcie na zaciskach [V]

ω – pulsacja [s^{-1}],

C – pojemność kondensatora [F].

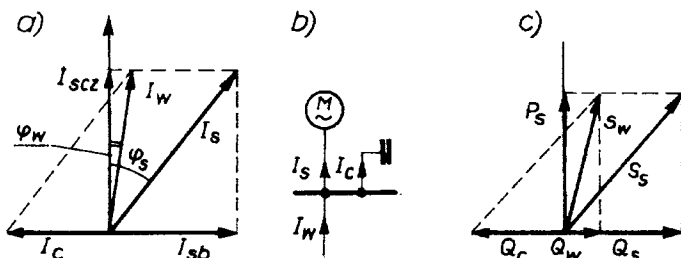
W sieci trójfazowej moc Q_c trzech kondensatorów o pojemności C każdy, połączonych w trójkąt (rys. 5.3b) jest trzykrotnie większa

$$Q_c = 3 U I_c = 3 \omega C U^2 \quad (5.3)$$

gdzie: U – napięcie międzyprzewodowe.

Moc tych kondensatorów połączonych w gwiazdę (rys. 5.3c)

$$Q_c = 3 \omega U_f^2 = 3 \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \omega C = \omega C U^2 \quad (5.4)$$



Rys. 5.4. Kompensacja mocy biernej za pomocą kondensatora. Wykres wskazowy prądów (a), układ połączeń (b), wykres wskazowy mocy (c)

Zasadę kompensacji za pomocą kondensatorów przedstawiono na rysunku 5.4. W praktyce nie kompensuje się prądów biernych całkowicie. Ogranicza się zwykle do uzyskania $\cos \varphi_w = 0,85 \div 0,93$. Powiększenie się prądu rzeczywistego w stosunku do czynnego przy dużych wartościach $\cos \varphi_w$ jest nieznaczne, a koszt

kondensatorów do poprawienia wartości współczynnika mocy o każde 0,1 jest taki sam. W rezultacie kompensowanie do większych wartości $\cos \varphi_w$ nie opłaca się.

Moc baterii kondensatorów do kompensacji obliczamy z zależności:

$$Q_k = P_o (\tan \varphi_s - \tan \varphi_w) \quad (5.5)$$

w której:

Q_k – moc kompensacyjna kondensatora,

P_o – moc czynna obciążenia,

φ_s, φ_w – kąt między wektorami prądu i napięcia odpowiednio przed i po zainstalowaniu kondensatora.

Przy kompensacji indywidualnej moc kondensatora nie może być większa od mocy biernej biegu jałowego odbiornika.

Moc baterii kondensatorów włączonej na napięcie U (inne niż znamionowe) wynosi:

$$Q_k = Q_{kn} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \quad (5.6)$$

gdzie: Q_{kn} – moc baterii kondensatorów przy napięciu znamionowym.

5.3. Program ćwiczenia

Moc baterii kondensatorów do kompensacji indywidualnej dobierać tak, aby była równa mocy biernej pobieranej przez odbiornik przy biegu jałowym. Moc tę wyznaczyć ze wskazań waromierza lub z zależności:

$$Q_o = \sqrt{3 U^2 I_o^2 - P_o^2} \quad (5.7)$$

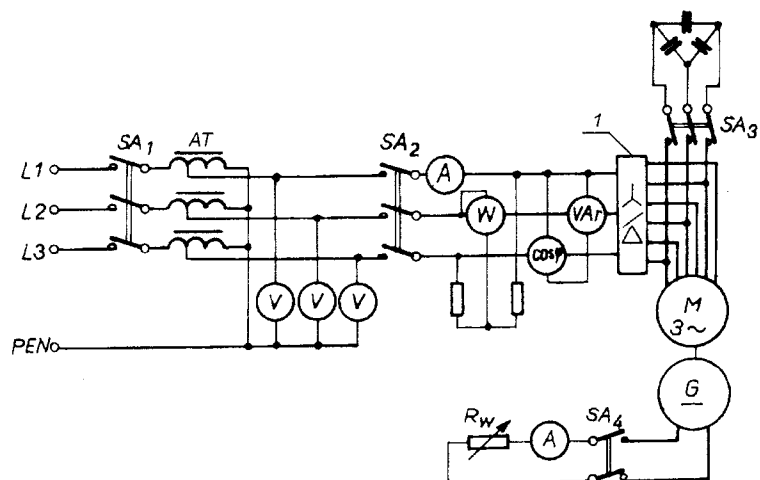
w której:

U – napięcie na zaciskach odbiornika,

P_o, I_o – moc i prąd pobierane przez odbiornik przy biegu jałowym.

Moc należy obliczyć dla połączenia uzwojeń silnika w trójkąt i gwiazdę.

Wartości podane w zależności (5.7) dla silnika klatkowego napędzającego prądnicę wyznaczyć w układzie przedstawionym na rysunku 5.5 (przy nie obciążonej prądnicy).



Rys. 5.5. Układ do pomiaru stopnia obciążenia silnika i doboru baterii kondensatorów do poprawy współczynnika mocy: 1–przełącznik gwiazda–trójkąt, SA – styki główne styczników, AT – autotransformator trójfazowy

Współczynnik mocy przy obciążeniu znamionowym i załączonej baterii kondensatorów wynosi:

$$\cos \varphi = \frac{P_n}{\sqrt{P_n^2 + (Q_n - Q_k)^2}} \quad (5.8)$$

Badania wpływu obciążenia silnika na pobór mocy biernej i współczynnik mocy przeprowadzić należy w układzie przedstawionym na rysunku 5.5, kolejno przy wyłączonej i załączonej baterii kondensatorów. Obciążenie silnika (uzwojenia połączone w trójkąt) zmieniać należy poprzez zmianę obciążenia prądnicy od biegu jałowego do obciążenia znamionowego.

5.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki pomiarów zestawić w tabelach. Na podstawie uzyskanych rezultatów należy:

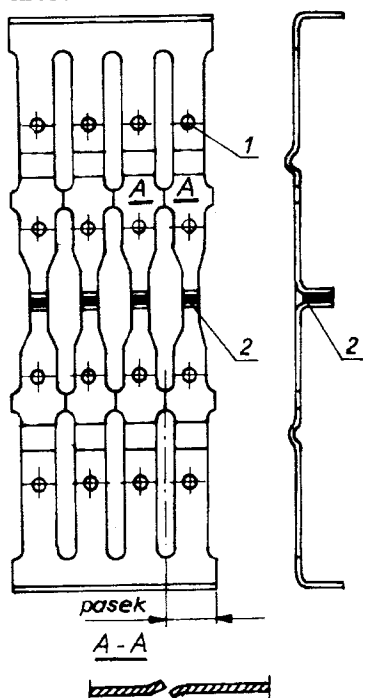
- ustalić moc bierną pobieraną przez silnik przy biegu jałowym i moc baterii kondensatorów do kompensacji indywidualnej;
- narysować wykresy wskazowe prądów i mocy, przy biegu jałowym i obciążeniu znamionowym silnika, przy załączonej baterii kondensatorów;
- narysować wykresy $Q = f\left(\frac{P}{P_n}\right)$ oraz $\cos \varphi = f\left(\frac{P}{P_n}\right)$, przy wyłączonej i załączonej baterii kondensatorów;
- podać wnioski dotyczące przebiegu ćwiczenia.

Ćwiczenie 6

BADANIE WKŁADEK TOPIKOWYCH BEZPIECZNIKÓW INSTALACYJNYCH

6.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową, zasadą działania, zakresem stosowania oraz z wymogami technicznymi i sposobami kontroli bezpieczników. Zakres ćwiczenia obejmuje wyznaczenie charakterystyki czasowo-prądowej wkładki bezpiecznikowych topikowych.



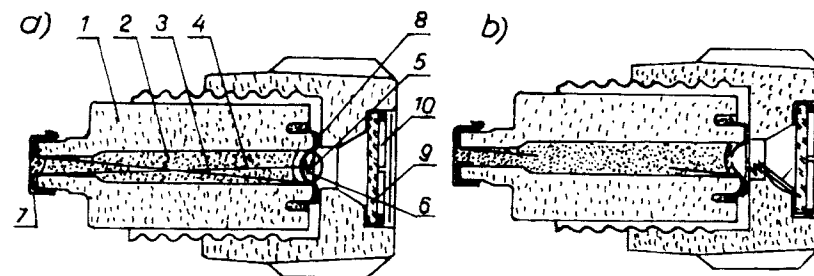
Rys. 6.1. Topik taśmowy wkładki topikowej bezpiecznika wielkiej mocy niskiego napięcia: 1-miejsce zwarcia, 2-miejsce przeciążeniowe

6.2. Wiadomości podstawowe

Bezpieczniki są łącznikami bezstykowymi jednorazowego działania przeznaczonymi do przerywania obwodów elektrycznych, w których prąd przekracza pewną określoną wartość w ciągu dostatecznie długiego czasu. Najistotniejszą częścią bezpiecznika jest wkładka topikowa, w której znajduje się element topikowy przeznaczony do stopienia się przy zadziałaniu bezpiecznika. Topiki wykonuje się z metalowych drutów (na niewielkie prądy), pasków (rys. 6.1) lub tzw. koszów topikowych. Jako materiał na topiki stosuje się zwykle miedź lub srebro.

Elementy topikowe znajdują się wewnątrz porcelanowych wkładek bezpiecznikowych (rys. 6.2) wypełnionych z reguły sytkim gasiwem z droбноziarnistego piasku kwarcowego, które ma za zadanie:

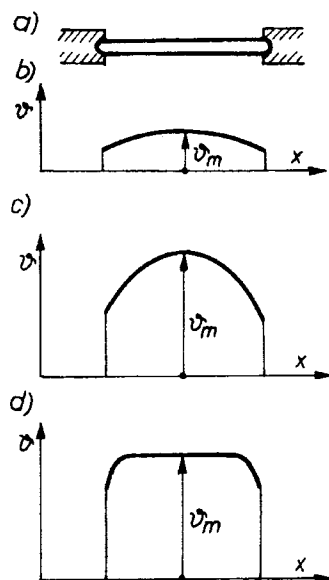
- zwiększyć, dzięki dobrej przewodności cieplnej gasiwa, gęstość prądu w elemencie topikowym, w wyniku czego przekroje tych elementów mogą być mniejsze, a efekt ograniczania prądów zwarciovych większy,
- ułatwić gaszenie łuku powstającego po stopieniu się elementu topikowego (łuk gaśnie w wąskich kanalikach powstałych po stopieniu się metalu),
- ograniczyć ciśnienie przenoszone na ścianki wkładki podczas palenia się łuku.



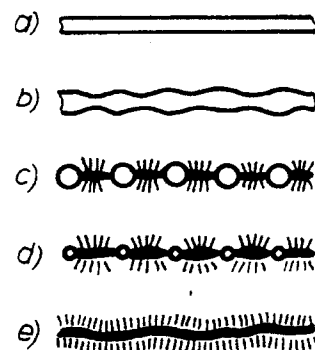
Rys. 6.2. Wkładka topikowa i główka bezpiecznika instalacyjnego: a) przed zadziałaniem, b) po zadziałaniu; 1-korpus porcelanowy wkładki, 2-kanal wypełniony gasiwem, 3-topik główny, 4-topik wskaźnikowy, 5-wskaźnik zadziałania, 6-sprężynka wskaźnikowa, 7-styk dolny wkładki, 8-styk górny wkładki, 9-szyba główki bezpiecznikowej, 10-sprężyna

Element topikowy przy niewielkich przeciążeniach przepala się w środku odległości między zaciskami, gdyż temperatura w tym miejscu jest najwyższa (rys. 6.3). Jest to spowodowane intensywnym oddawaniem ciepła przez przewodzenie z elementu topikowego do zacisków wkładki i podstawy bezpiecznikowej, mających znaczną pojemność cieplną i dobre warunki chłodzenia.

Przy znacznych przetężeniach (zwarcia) intensywność wydzielania się ciepła w elemencie topikowym jest bardzo duża, lecz czas trwania zjawiska jest z reguły bardzo krótki, tak że oddawanie ciepła do zacisków nie ma większego znaczenia. Element topikowy prawie na całej swojej długości osiąga praktycznie jednakową temperaturę (rys. 6.3d) i topi się jednocześnie na znacznej długości. Poprawia to warunki gaszenia łuku, lecz może powodować znaczny wzrost temperatury styków wkładki i podstawy bezpiecznikowej, gdyż są one narażone na bezpośrednie działanie wysokiej temperatury łuku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych faz przemiany topika występujących podczas zwarcia jest bardzo złożona.



Rys. 6.3. Nagrzewanie elementu topikowego (a), przy normalnym obciążeniu (b), przeciążeniu (c) i podczas zwarcia (d)

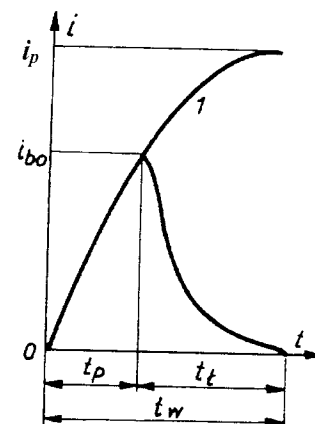


Rys. 6.4. Fazy przemian elementu topikowego przy wyłączaniu zwarcia

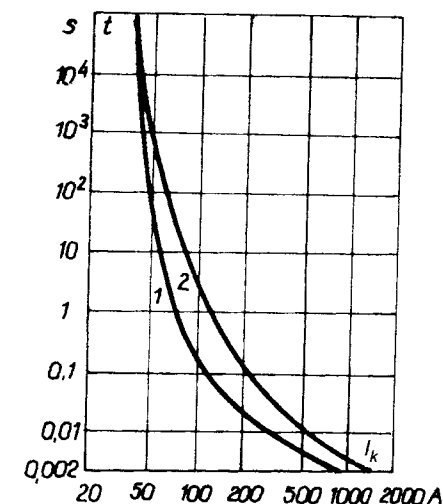
Przyjmuje się powszechnie, że w procesie przemian topika występuje stadium tzw. onduloidu, w którym topik dzieli się w wyniku działania napięć powierzchniowych oraz sił elektrodynamicznych na szereg odcinków (rys. 6.4c). W przerwach pomiędzy odcinkami topika znajdują się łuki krótkie, poprzedzielane kroplami metalu. Duża liczba szeregowo połączonych łuków krótkich powoduje, że napięcie w chwili zapłonu łuku gwałtownie wzrasta, przekraczając napięcie zadziałania. Stopniowe parowanie metalu, dzielącego łuki krótkie, prowadzi do łączenia się łuków krótkich w dłuższe i pośrednio do obniżania się napięcia łuku (rys. 6.4c,d).

Czas od chwili wystąpienia prądu powodującego topienie topika do chwili zapłonu łuku nazywa się **czasem przedłukowym** t_p a czas od chwili zapłonu łuku do chwili jego zgaszenia – **czasem łukowym** t_τ . Suma czasów t_p i t_τ nazywa się czasem wyłączania bezpieczników t_w (rys. 6.5).

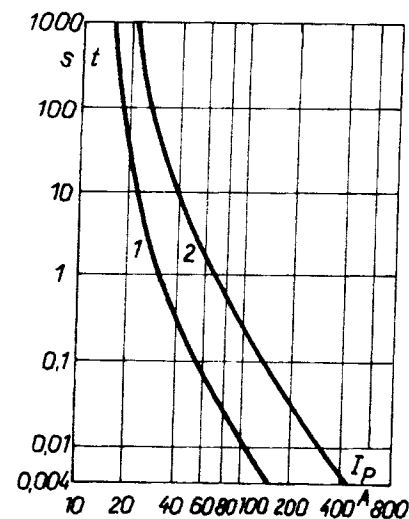
Zależność średnich czasów przedłukowych lub czasów wyłączania od wartości prądu spodziewanego przepływającego przez bezpiecznik nazywa się **charakterystyką czasowo-prądową** wkładki topikowej (rys. 6.6).



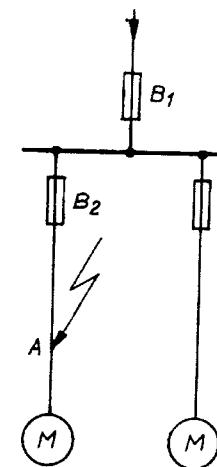
Rys. 6.5. Szkic objaśniający niektóre pojęcia charakteryzujące działanie bezpieczników: 1–przebieg prądu zwarcia, t_p – czas przedłukowy, t_τ – czas łukowy, t_w – czas wyłączania bezpiecznika, i_{bo} – prąd ograniczony bezpiecznika, i_p – prąd udarowy



Rys. 6.6. Charakterystyki czasowo-prądowe wkładek topikowych o prądzie znamionowym 25 A: 1–wkładki topikowej szybkiej, 2–wkładki topikowej zwłocznej, I_k – prąd zwarcia początkowy spodziewany



Rys. 6.7. Charakterystyka pasmowa wkładki topikowej Bu-Wto 10: 1–krzywa najkrótszych czasów przedłukowych, 2–krzywa najdłuższych czasów wyłączania



Rys. 6.8. Wybiórczość działania zabezpieczeń (szkic objaśniający)

Podawane są również tzw. charakterystyki pasmowe wkładek bezpiecznikowych topikowych (rys. 6.7) ograniczone dwiema granicznymi krzywymi: krzywą najkrótszych czasów przedłukowych (1) oraz krzywą największych czasów wyłączania (2). Charakterystyki pasmowe mają duże znaczenie w analizie warunków wybiórczego działania bezpieczników. Zabezpieczenia działają wybiórczo, gdy przy zwarciu w punkcie *A* (rys. 6.8) zadziała tylko bezpiecznik *B*₂. Ma to miejsce wówczas, gdy charakterystyki pasmowe bezpieczników *B*₁ i *B*₂, naniesione na jeden rysunek, nie będą miały wspólnych obszarów działania. Spełnienie jedynie warunku, że prąd znamionowy bezpiecznika *B*₁ jest większy od prądu bezpiecznika *B*₂ może okazać się niewystarczające.

Oprócz charakterystyk czasowo-prądowych, własności bezpieczników przy niewielkich lecz długotrwałych przeciążeniach są charakteryzowane prądem probierczym dolnym i prądem probierczym górnym, a własności bezpieczników przy prądach zwarciovych są określone prądem wyłączalnym i prądem ograniczonym bezpiecznika.

Prąd probierczy dolny *I*_{nf} jest to największa wartość prądu, jaki wkładka powinna przetrzymać (bez zadziałania) przez określony czas trwania próby. **Prąd probierczy górny** *I*_f jest to najmniejsza wartość prądu, pod wpływem którego wkładka powinna zadziałać przed upływem określonego czasu (tab. 6.1).

Tabela 6.1.

Umowny czas prób oraz prądy probiercze dolny *I*_{nf} i górny *I*_f wkładek topikowych bezpieczników¹⁾

Prądy znamionowe wkładek <i>I</i> _n [A]	4	6 do 16	20 do 63	80 do 160	200 do 400	> 400
Umowny czas prób [h]	1			2	3	5
Wkładki typu g G ¹⁾	<i>I</i> _{nf} / <i>I</i> _n	<i>I</i> _f / <i>I</i> _n	<i>I</i> _{nf} / <i>I</i> _n	<i>I</i> _f / <i>I</i> _n	<i>I</i> _{nf} / <i>I</i> _n	<i>I</i> _f / <i>I</i> _n
	1,5	1,5	1,25	1,25	1,25	1,25
	2,1	1,9	1,6	1,6	1,6	1,6

¹⁾ Wyjaśnienie oznaczeń: g – wkładka topikowa o pełno zakresowej zdolności wyłączania zdolna do wyłączania w określonych warunkach wszystkich prądów od minimalnych powodujących przetopienie topika, do prądów równych znamionowej zdolności wyłączania; G – ogólne przeznaczenie

Prąd wyłączalny (zdolność wyłączania) bezpiecznika jest to największa wartość skuteczna prądu spodziewanego, który wkładka może przerwać bez uszkodzenia bezpiecznika.

Prąd spodziewany – wartość skuteczna prądu, jaki popłynie w obwodzie, gdy bezpiecznik zostanie zastąpiony połączeniem o pomijalnej impedancji; w przypadku zwarć w obwodach prądu przemiennego jest to prąd początkowy.

Prąd ograniczony bezpiecznika *i*_{bo} jest to największa chwilowa wartość prądu występująca podczas działania bezpiecznika, gdy czas przedłukowy jest tak krótki, że prąd nie zdąży osiągnąć wartości szczytowej (rys. 6.5). Im większa jest wartość szczytowa, do której zmierza prąd, tym szybciej przepala się element topikowy i tym wydatniejsze jest działanie ograniczające bezpiecznika, pod warunkiem że spodziewany prąd zwarciovoy nie przekracza wartości prądu wyłączalnego bezpiecznika.

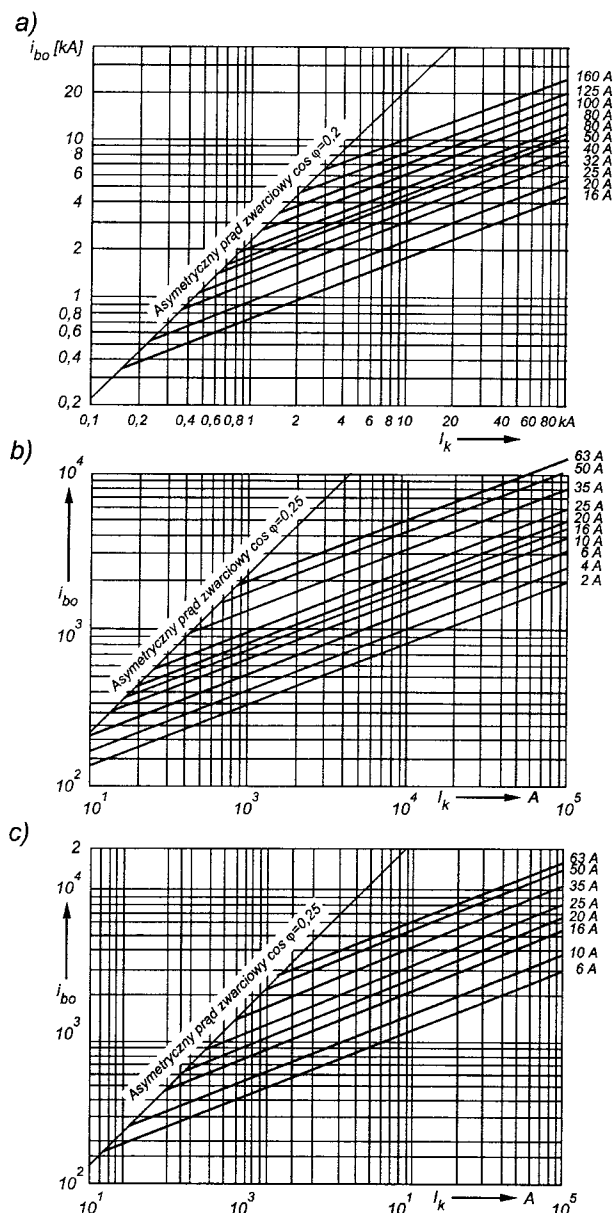
Zastosowanie bezpieczników o dużych zdolnościach wyłączania pozwala w wielu przypadkach wydatnie ograniczyć cieplne i dynamiczne działanie prądów zwarciovych.

Dane o działaniu ograniczającym wkładek topikowych podają wytwórnie w postaci wykresów. Na rysunku 6.9 przedstawiono takie wykresy dla niektórych wkładek topikowych bezpieczników krajowych. Na osi odciętych podane są wartości skuteczne *I*_k spodziewanego prądu, na osi rzędnych – chwilowe wartości prądu zwarciovego *i*_p oraz prądu ograniczonego wkładki bezpiecznikowej *i*_{bo}. Dla każdej wartości *I*_k możemy odczytać odpowiadającą jej wartość *i*_p (która wystąpiłaby bez ograniczającego działania wkładki bezpiecznikowej) oraz wartość *i*_{bo} przy zastosowaniu wkładek topikowych o różnych prądach znamionowych.

Czasy działania wkładek topikowych powinny być wyznaczone przy zachowaniu następujących warunków:

- badania prowadzi się w układzie jednofazowym,
- temperatura początkowa wkładek bezpiecznikowych topikowych powinna wynosić 20±5°C,
- wartość prądów probierczych należy nastawić przy zbocznikowanej wkładce bezpiecznikowej topikowej,
- badanie wkładek topikowych należy wykonywać czasomierzem zapewniającym dokładność nie mniejszą niż 1,5%.

Sprawdzenie charakterystyki czasowo-prądowej powinno być wykonane na wkładce topikowej umieszczonej w gnieździe bezpiecznikowym z główką bezpiecznikową oraz wstawką ograniczającą o wielkości odpowiedniej do badanej wkładki. Należy wykonać trzy próby, każdą prądem według tabeli 6.2. Wynik sprawdzenia należy uznać za dodatni, jeżeli zmierzony czas będzie się mieścił w przedziale określonym charakterystyką czasowo-prądową (rys. 7.4 i 7.5).



Rys. 6.9. Charakterystyki prądów ograniczonych bezpieczników niskiego napięcia: a) wkładki topikowe przemysłowe WTOO/gG, b) szybkie wkładki topikowe instalacyjnych BiWts/gF, c) zwłocznych wkładek topikowych instalacyjnych BiWtz/gG

Tabela 6.2.
Krotność prądu znamionowego wkładek topikowych „g” przy sprawdzaniu ich charakterystyk czasowo-prądowych

Numer próby	Krotność prądu
1	2,5 ÷ 4
2	5 ÷ 8
3	10 ÷ 20

Oprócz tego prowadzi się badania wkładek dla prądów probierczych – dolnego i górnego. Wynik uznaje się za dodatni, jeżeli wkładka przepali się przy obciążeniu górnym prądem probierczym, a nie przepali się przy obciążeniu dolnym prądem probierczym, w określonym czasie trwania próby. Wkładki obciąża się najpierw prądem probierczym dolnym, a po wykonaniu próby i ostygnięciu wkładki, prądem probierczym górnym.

Ponadto wykonuje się próbę działania wskaźników zadziałania bezpieczników przy napięciu do 100 V, obciążając trzy wkładki prądem probierczym równym trzykrotnej wartości prądu znamionowego wkładki topikowej.

6.3. Program ćwiczenia

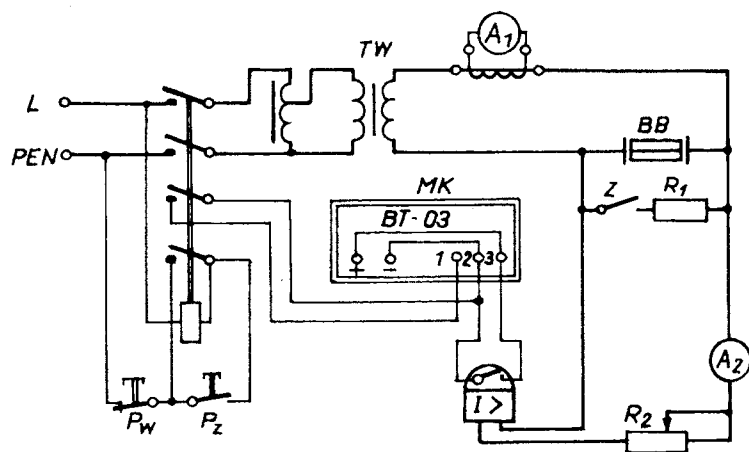
Należy wyznaczyć charakterystykę czasowo-prądową wkładek bezpiecznikowych zwykłych i zwłocznych, będącą zależnością czasu wyłączenia (t_w) bezpiecznika od prądu probierczego (I), powodującego stopienie topika we wkładce w zakresie prądów probierczych od 1,7 do 6-krotnej wartości prądu znamionowego. Badania wykonuje się w układzie przedstawionym na rysunku 6.10.

Prąd obciążenia uzyskuje się z zespołu prądowego składającego się z autotransformatora i transformatora prądowego TW. W celu wyznaczenia charakterystyki czasowo-prądowej bezpiecznika należy kolejno wykonać następujące czynności:

- sprowadzić autotransformator w położenie zerowe,
- załączyć zwieracz Z ,
- załączyć przycisk P_z ,
- nastawić za pomocą autotransformatora żądaną wartość prądu powodującego zadziałanie wkładki bezpiecznikowej (odczyt na amperomierzu A_1),

- przyciskiem P_w wyłączyć stycznik,
- otworzyć zwieracz Z ,
- załączyć przycisk P_z ,
- nastawić rezystorem R_2 wartość prądu zadziałania przekaźnika prądowego (odczyt na amperomierzu A_2),
- wyłączyć zasilanie i założyć badaną wkładkę BB ,
- włączyć zasilanie (przyciskiem P_z) obserwując zachowanie się wkładki bezpiecznikowej.

Równocześnie z pojawieniem się prądu w obwodzie bezpiecznika zostaje uruchomiony miernik kondensatorowy MK do pomiaru czasu. Po przepaleniu się wkładki zadziała przekaźnik powodując zatrzymanie miernika MK. Czas mierzony tym miernikiem składa się z czasu wyłączania bezpiecznika oraz czasu własnego przekaźnika. Ten ostatni należy zmierzyć przy zamkniętym wyłączniku Z (bez wkładki topikowej) i każdorazowo odejmować od wskazań MK.



Rys. 6.10. Układ do zdejmowania charakterystyki czasowo-prądowej wkładek topikowych

6.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki pomiarów zestawić w tabeli oraz:

- narysować charakterystyki czasowo-prądowe $t_{w \max} = f(I)$ oraz $t_{w \min} = f(I)$ stosując w osi czasu podziałkę logarytmiczną,
- porównać wyniki pomiarów z wymogami normy.

Ćwiczenie 7

DOBÓR ZABEZPIECZEŃ SILNIKÓW

7.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne zaznajomienie studentów z zasadami doboru zabezpieczeń przetężeniowych (zwarciovych i przeciążeniowych) silników niskiego napięcia. Ćwiczenie obejmuje zachowanie się zabezpieczeń przy różnych rodzajach rozruchu silnika.

7.2. Wiadomości podstawowe

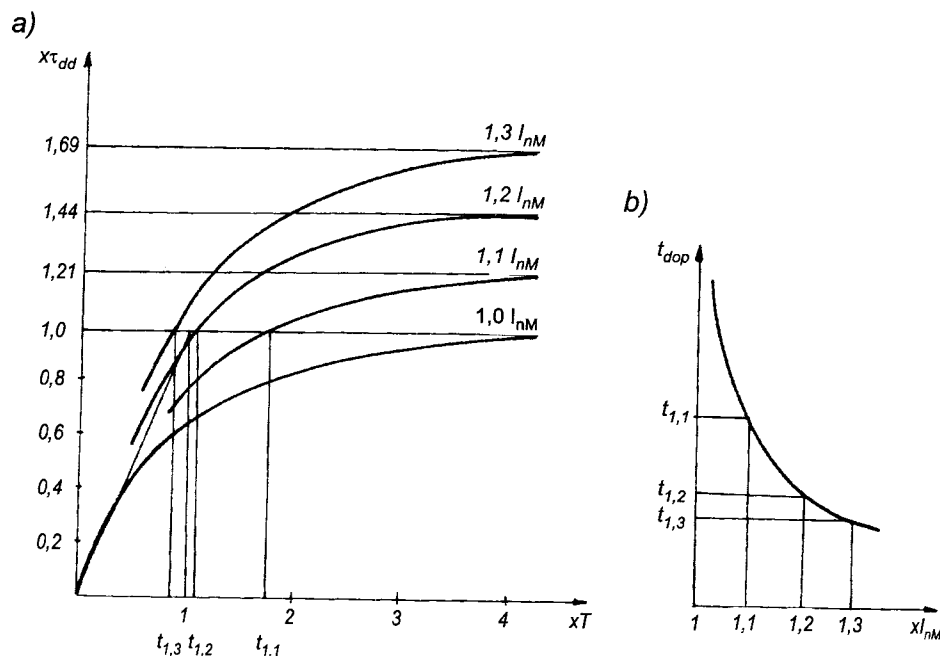
Silnik może pracować w warunkach zwykłych lub zakłóceń. Silnik pracuje poprawnie, jeżeli są spełnione następujące warunki:

- a) przebieg obciążenia nie stawia trudniejszych wymagań niż te, na które została dobrana moc silnika,
- b) napięcie na zaciskach silnika nie różni się zbyt od znamionowego,
- c) warunki chłodzenia nie są gorsze od znamionowych,
- d) nie powstaną uszkodzenia maszyny napędzanej lub silnika.

Jeżeli jeden (lub więcej) z wymienionych warunków nie jest spełniony, to wystąpi zakłócenie mogące doprowadzić do uszkodzeń silnika. Stan zakłóceń pracy silnika może być przyczyną zwiększenia się prądu ponad wartość znamionową oraz nadmiernego nagrzania się uzwojeń i całego silnika. Podczas zwarcia wydzielanie się ciepła jest tak szybkie, że temperatura uzwojeń może w krótkim czasie (niekiedy w ułamku sekundy) przekroczyć wartość dopuszczalną.

Powszechnie stosowanymi zabezpieczeniami silników są następujące urządzenia lub zestawy urządzeń zabezpieczających:

- bezpieczniki stanowiące zabezpieczenie zwarciovie oraz styczniki i przekaźnik termobimetalowe jako zabezpieczenie przeciążeniowe;
- wyłączniki z wyzwalaczami elektromagnetycznymi stanowiącymi zabezpieczenie zwarciovie oraz wyzwalaczami termobimetalowymi;
- bezpieczniki jako dodatkowe zabezpieczenie zwarciovie oraz wyłączniki lub sterowniki silnikowe z wyzwalaczami elektromagnetycznymi oraz termobimetalowymi lub tylko z wyzwalaczami termobimetalowymi.



Rys. 7.1. Charakterystyki cieplne silnika: a) względne przyrosty temperatury silnika obciążonego prądem kI_{nM} od stanu zimnego; b) dopuszczalny czas trwania przeciążeń t_{dop} , τ_{dd} – przyrost temperatury dopuszczalny długotrwale, T – cieplna stała czasowa

Zależność między czasem osiągnięcia przez uzwojenie silnika najwyższych dopuszczalnych przyrostów temperatury a prądem pobieranym z sieci nazywa się charakterystyką cieplną silnika (rys. 7.1). Charakterystyka ta wyznacza dopuszczalne czasy trwania przeciążenia o określonych wartościach, które nie wywołuje przekroczenia przyrostów temperatury granicznie dopuszczalnej długotrwale.

Najczęściej przebiegi cieplnych charakterystyk czasowo-prądowych silników nie są znane. Podstawowy warunek skuteczności zabezpieczeń przeciążeniowych

jest taki, aby charakterystyki czasowo-prądowe zabezpieczeń przebiegały poniżej charakterystyk cieplnych silników. Warunek ten będzie spełniony, jeżeli wartość prądu nastawienia zabezpieczeń przeciążeniowych (I_n) nie jest większa niż wyrażona zależnością

$$I_n = (1,0 \div 1,1) I_{nM} \quad (7.1)$$

przy czym I_{nM} – prąd znamionowy silnika.

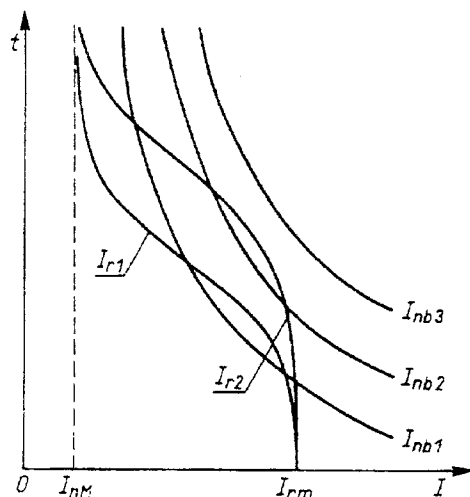
Oznacza to, że przy przeciążeniach równych co najmniej 10% silnik nie będzie dostatecznie zabezpieczony. Daje to jednak możliwość wyzyskania pełnej mocy silnika przy małym prawdopodobieństwie jego uszkodzenia.

Należy zwrócić uwagę, że zabezpieczenie przeciążeniowe nie będzie wykorzystane w przypadku uruchamiania silnika przez przełącznik gwiazda – trójkąt, gdy zabezpieczenie to jest umieszczone w przewodach zasilających i nastawione na prąd I_{nM} . Pozostawienie silnika w układzie gwiazdowym uzwojeń nie uchroni silnika od przeciążeń w zakresie prądów $I_{nM} / \sqrt{3} \dots I_{nM}$. Należy więc dążyć do umieszczenia zabezpieczeń w przewodach fazowych i nastawienia na wartość prądu $I_{nM} / \sqrt{3}$.

Przy doborze zabezpieczenia przeciążeniowego należy zwrócić uwagę na to, by wytrzymałość zwarciovie zabezpieczenia była dostateczna i by zabezpieczenie nie działało podczas rozruchu. Wytrzymałość zwarciovie zabezpieczenia przeciążeniowego jest określana w katalogach największą wartością prądu znamionowego wkładki topikowej, pełniącej rolę zabezpieczenia zwarciovie. W przypadku, w którym prąd znamionowy wybranej wkładki topikowej jest większy niż odpowiadający danemu zabezpieczeniu, należy dobrać zabezpieczenie o większej wytrzymałości zwarciovie i o zakresie nastawienia obejmującym prąd znamionowy silnika.

Zadaniem zabezpieczeń zwarciovych jest bardzo szybkie (bezzwłoczne) wyłączenie zabezpieczanego urządzenia od napięcia zasilającego w przypadku zwarcia. Zabezpieczenie to nie powinno powodować wyłączeń silnika przy zwykłej pracy, a więc również i przy jego rozruchu. Dobór zabezpieczeń zwarciovych polega na wyznaczeniu prądu nastawczego zabezpieczeń nadprądowych bezzwłocznych lub prądu znamionowego wkładek bezpiecznikowych, przy którym będą działały one pewnie podczas zwarcia (jak najmniejszy prąd nastawczy) i nie będą powodowały wyłączenia w czasie rozruchu zabezpieczanych urządzeń (np. silników indukcyj-

nych). Prąd rozruchowy natomiast po włączeniu silnika osiąga wartość kilkakrotnie ($5 \div 8$ razy) większą od prądu znamionowego. Prąd ten zmniejsza się tylko nieznacznie aż do momentu osiągnięcia przez silnik znamionowej prędkości obrotowej. Wartość prądu rozruchu nie zależy od obciążenia, wpływa ono jednak na czas trwania rozruchu.



Rys. 7.2. Zasada doboru prądu znamionowego bezpieczników, stanowiących zabezpieczenie zwarciove silników, przez porównanie przebiegów charakterystyk czasowo-prądowych bezpieczników ($I_{nb1}, I_{nb2}, I_{nb3}$) oraz prądów rozruchowych (I_{r1}, I_{r2}), I_{nM} – prąd znamionowy silnika

Należy porównać przebiegi charakterystyk czasowo-prądowych bezpieczników oraz przebieg prądu rozruchowego (rys. 7.2) i dobrać wkładkę o najmniejszej wartości prądu znamionowego, której charakterystyka nie przecina się z charakterystyką czasowo-prądową silnika w czasie rozruchu.

Jeżeli nie dysponujemy charakterystykami wkładek topikowych bezpieczników lub dokładnymi danymi o przebiegu rozruchu silnika, można korzystać z następujących zależności:

$$I_{nb} \geq I_{nM} \quad (7.2)$$

$$I_{nb} \geq \frac{I_{rm}}{\alpha} = \frac{k_r I_{nM}}{\alpha} \quad (7.3)$$

w których:

- I_{nb} – prąd znamionowy wkładki topikowej,
- I_{nM} – prąd znamionowy silnika,
- I_{rm} – największa wartość prądu rozruchowego silnika,
- k_r – krotność prądu rozruchowego,
- α – współczynnik zależny od typu wkładki, rodzaju i częstości rozruchów.

Współczynnik α podano w tabeli 7.1, przy czym wartości większe dotyczą przypadku, gdy liczba rozruchów silnika wynosi kilka ($3 \div 5$) na dobę, mniejsze zaś dotyczą większej liczby rozruchów.

Tabela 7.1.
Wartości współczynnika rozruchowego α we wzorze (7.3)

Rodzaj rozruchu	Moment hamujący M_h silnika w czasie rozruchu	Wkładka o działaniu	
		szybkim	zwłocznym
Lekki	$M_h \leq 0,5 M_n$	$2,0 \div 2,5$	$2,5 \div 3,0$
Średni	$0,5 M_n < M_h \leq M_n$	$1,8 \div 2,0$	$2,0 \div 2,5$
Ciężki	$M_h > M_n$	$1,5 \div 1,6$	$1,5 \div 1,6$
M_n – moment znamionowy silnika			

Jeżeli zabezpieczeniem zwarciovym są wyłączniki wyposażone w wyzwalacze elektromagnesowe, to prądy działania wyzwalaczy I_{wm} powinny być większe od największych chwilowych wartości prądów roboczych I_{rm} powodowanych głównie pracą silników w czasie rozruchów oraz występujących przy hamowaniu przeciwdziałem i rewersowaniu. Zwykle przyjmuje się

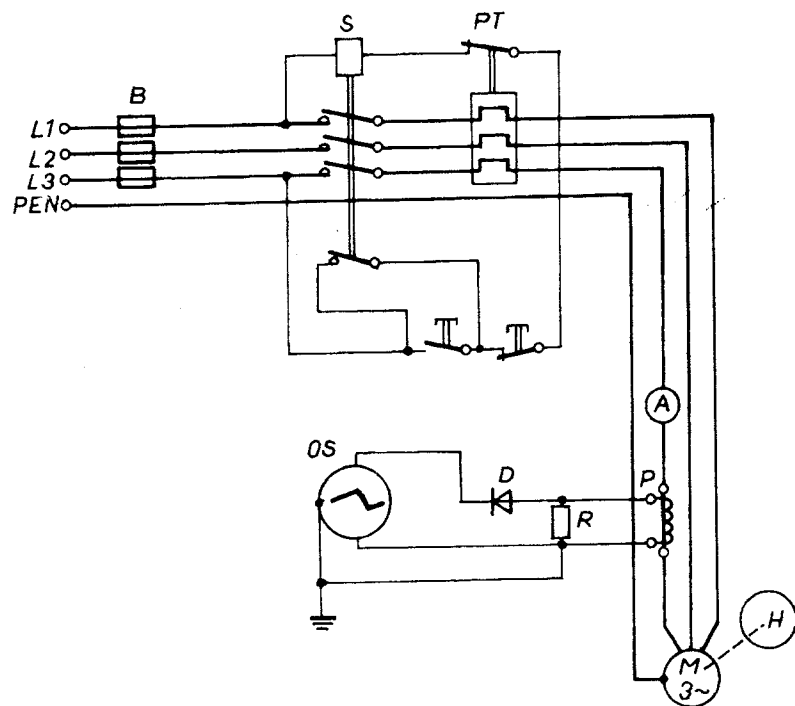
$$I_{wm} > 1,2 I_{rm} \quad (7.4)$$

Zachowanie 20% różnicy między prądami działania wyzwalaczy i prądami roboczymi wynika z tego, że rzeczywiste prądy robocze wskutek dodatniego odchylenia napięcia lub jednoczesnego włączenia wielu odbiorników mogą być większe od obliczonych, a ponadto prądy nastawienia i działania wyzwalaczy mogą być obciążone pewnym błędem.

7.3. Program ćwiczenia

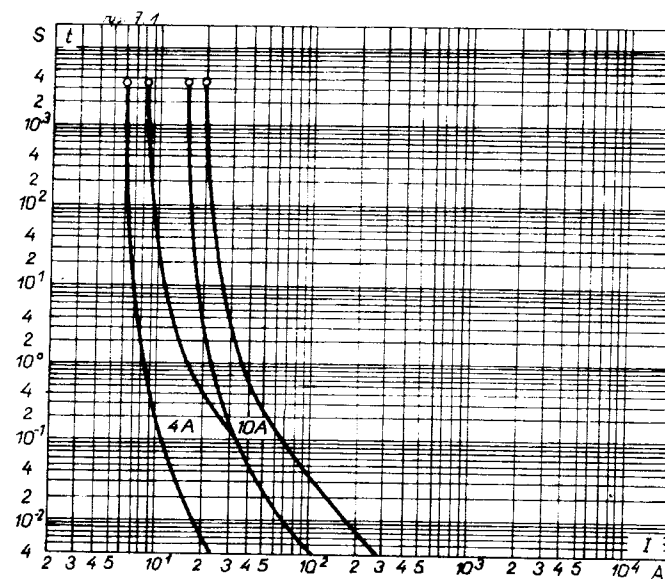
W czasie ćwiczenia należy:

1. Zapoznać się z układem pomiarowym (rys. 7.3).

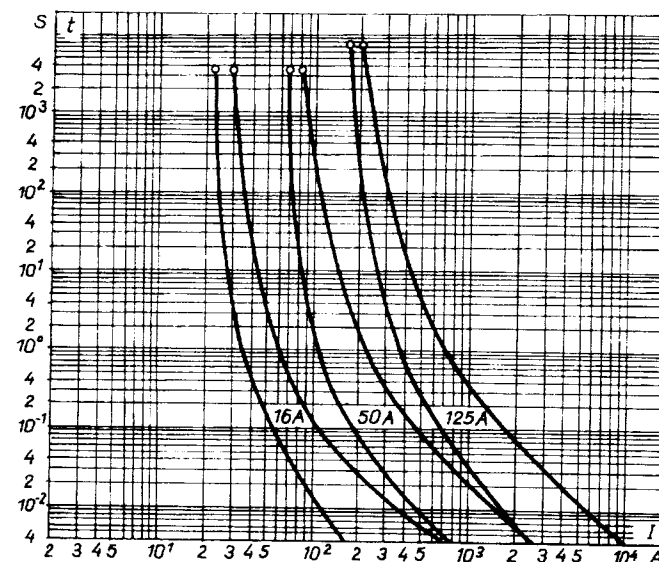


Rys. 7.3. Układ do pomiaru prądu rozruchowego silnika: *B* – bezpieczniki topikowe, *S* – stycznik elektromagnesowy, *Pt* – przekaźnik termobimetalowy, *Os* – oscyloskop, *P* – przekładnik prądowy, *M* – silnik indukcyjny, *H* – hamowania, *D* – dioda

2. Dla zadanych warunków rozruchu wykonać pomiary największych wartości prądu rozruchu, wartości prądu roboczego silnika oraz czasu trwania rozruchu. Należy porównać charakterystykę prądu rozruchowego z charakterystyką czasowo-prądową wkładki topikowej. Dobrać wkładkę topikową metodą wykorzystania charakterystyk czasowo-prądowych (rys. 7.4 i 7.5) oraz współczynnika α .



Rys. 7.4. Charakterystyki czasowo-prądowe, pasmowe wkładek topikowych Wts 4 i 10 A na napięcie 500 i 660 V



Rys. 7.5. Charakterystyki czasowo-prądowe, pasmowe wkładek topikowych Wts 16, 50, 125 A na napięcie 500 i 660 V

3. Sprawdzić praktycznie czy dobór wkładki był właściwy, tzn. czy dobrana wkładka topikowa (wkładka bezpiecznikowa) nie ulega przepaleniu podczas rozruchu silnika oraz czy wkładka o stopień niższy ulega przepaleniu.
4. Dobrać nastawienie zabezpieczenia przeciążeniowego badanego silnika i sprawdzić jego wytrzymałość zwarciovą.

7.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabelach. Na podstawie uzyskanych rezultatów ocenić dokładność stosowanych metod doboru zabezpieczeń zwarciovych i przeciążeniowych. Określić warunki współpracy przekładników termicznych przeciążeniowych z bezpiecznikami.

Ćwiczenie 8

BADANIE WYŁĄCZNIKÓW SAMOCZYNNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

8.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową, zasadą działania, własnościami i zakresem stosowania wyłączników samoczynnych. Podczas ćwiczenia należy dokonać niektórych podstawowych badań wyłączników typu APU 30 A/1000 oraz DS-416.

8.2. Wiadomości podstawowe

Łączniki samoczynne zamkowe, nazywane wyłącznikami samoczynnymi, są to łączniki przeznaczone do załączania i wyłączania prądów roboczych, przeciążeniowych oraz zwarciovych. Załączanie może odbywać się, w zależności od zastosowanego napędu, w sposób ręczny, w wyniku bezpośredniego działania obsługi lub samoczynny. Wyłączanie może być ręczne albo samoczynne, w wyniku działania wyzwalaczy lub przekładników reagujących na zmianę pewnych wielkości fizycznych, takich jak: napięcie, prąd, ciśnienie, temperatura itp.

Wyłączniki samoczynne składają się z następujących podstawowych elementów:

- napędu,
- zamka utrzymującego wyłącznik w stanie załączonym,
- układu zestykowego złożonego ze styków nieruchomych i ruchomych,
- układu gaszeniowego złożonego z komór gaszeniowych,
- wyzwalacza elektromagnetycznego o działaniu bezzwłocznym,

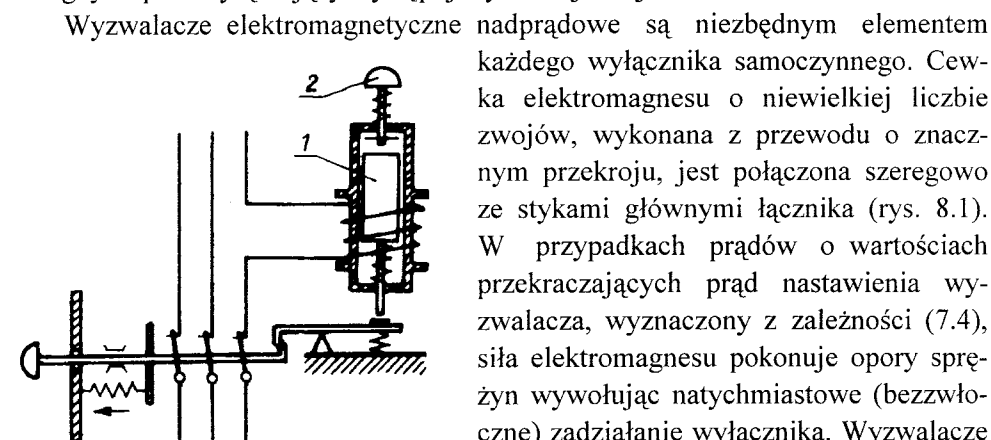
- wyzwalacza lub przekaźnika termobimetalowego przeciążeniowego (zob. ćw. nr 16).

Ponadto wyłączniki, zwłaszcza na większe prądy znamionowe (np. APU i DS), mogą być dodatkowo wyposażone:

- w wyzwalacze nadnapięciowe (wzrostowe, nadmiarowe),
- w wyzwalacze podnapięciowe (zanikowe, niedomiarowe).

Najbardziej rozpowszechnionym napędem wyłączników samoczynnych jest napęd ręczny. Wyłączniki na duże prądy znamionowe mogą mieć również napęd elektromagnesowy, silnikowy lub powietrzny umożliwiający zdalne załączanie wyłącznika. Wyłączenie odbywa się w sposób migowy pod wpływem działania sprężyn zwrotnych napiętych w czasie załączania.

Styki ruchome wszystkich biegunów wyłącznika są ze sobą trwale połączone poprzeczką izolacyjną. Zapewnia to jednoczesne działanie wszystkich styków, nawet gdy impuls wyłączający występuje tylko w jednej fazie.



Rys. 8.1. Zasada działania wyzwalacza elektromagnetycznego: 1—rdzeń elektromagnesu, 2—przycisk ręcznego wyzwalania

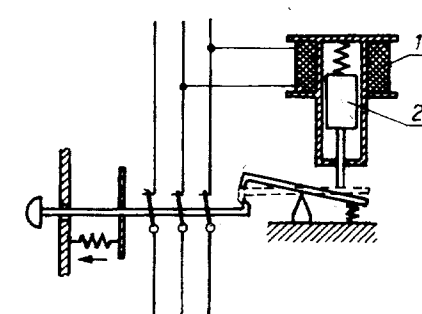
Wyzwalacze lub przekaźniki termobimetalowe (rys. 16.1), zabezpieczają urządzenie przed przeciążeniami (zob. ćw. nr 7).

Wyzwalacze napięciowe wzrostowe powodują otwarcie wyłącznika pod wpływem napięcia doprowadzonego do cewki wyzwalacza. Zasada budowy działania jest zbliżona do wyzwalacza elektromagnetycznego, nadprądowego, z tym że cewka ma dużą liczbę zwojów i jest wykonana z drutu o niewielkim przekroju.

Wyzwalacze napięciowe zanikowe uniemożliwiają pracę urządzeń przy nadmiernym spadku napięcia (rys. 8.2). Wyzwalacz taki powinien:

- powodować zadziałanie (wyłączenie) wyłącznika w przypadkach obniżania się napięcia poniżej 0,7 wartości napięcia znamionowego,
- uniemożliwiać załączenie w przypadku braku napięcia,
- uniemożliwiać załączenie, gdy napięcie jest wyższe niż 0,8 napięcia znamionowego.

Wyzwalacze zanikowe umożliwiają zdalne sterowanie (wyłączenie) wyłącznika oraz pozwalają na rozwiązanie układu zabezpieczeń sterowanych urządzeń.



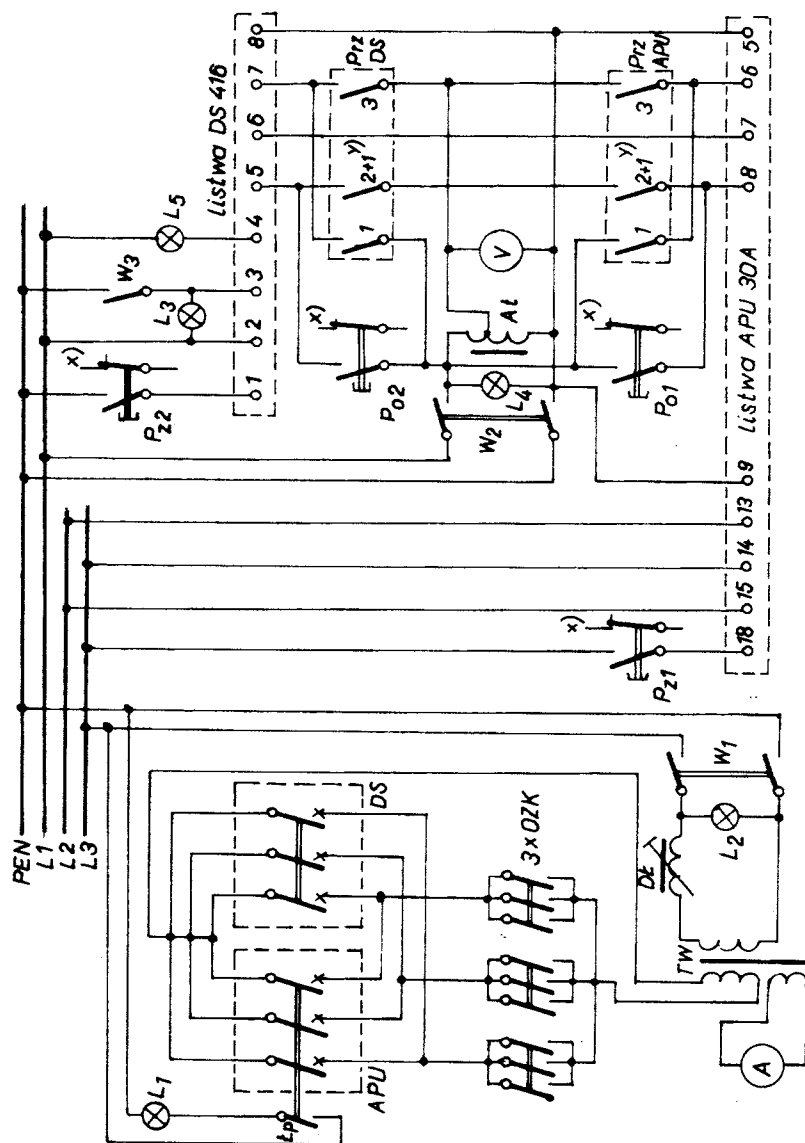
Rys. 8.2. Zasada działania wyzwalacza nadmiarowego (podnapięciowego, zanikowego): 1—cewka elektromagnesu, 2—rdzeń elektromagnesu

8.3. Program ćwiczenia

8.3.1. Wyjaśnienia ogólne

Rozróżnia się dwa rodzaje badań technicznych łączników: badania typu oraz badania wyrobu. Badanie typu ma na celu sprawdzenie i ocenę konstrukcji łącznika oraz jego wyposażenia pod względem budowy, zastosowanych materiałów i parametrów technicznych. Badanie wyrobu ma na celu sprawdzenie jakości wykonania łączników produkowanych na podstawie dokumentacji technicznej, zatwierdzonej na podstawie dodatniego wyniku badań typu.

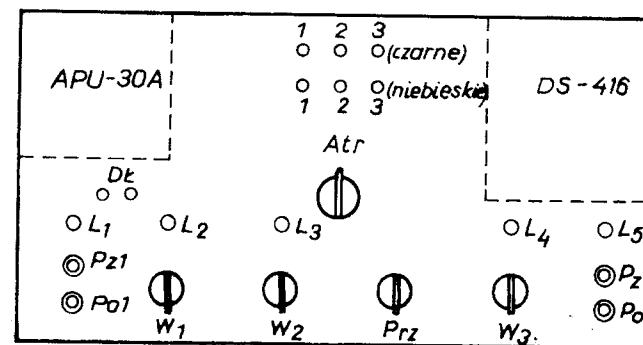
Zakres wykonywanych w czasie ćwiczenia badań obejmuje niektóre z podstawowych prób wyrobu i typu. Ze względu na niemożliwość wykonania podczas ćwiczenia pełnych prób technicznych, ich rodzaj i zakres zostanie ustalony przez prowadzącego zajęcia w trakcie trwania ćwiczenia.



Rys. 8.3. Układ połączeń stanowiska do badania wyłączników typu APU i DS: x) – styk w układzie miernika Mk (rys. 8.10), y) – 2+1 oznacza, że w połączeniu Z zamknięty jest też zestyk 1

8.3.2. Układ pomiarowy

Układ elektryczny stanowiska (rys. 8.3) składa się z części nazwanej umownie „tor prądowy”, w skład której wchodzi: wyłącznik W_1 , transformator wielkopiętrowy TW, dławik o regulowanej indukcyjności DI , łącznik OZK i bieguny badanych wyłączników oraz z bloku „tor napięciowy” zbudowanego z wyłącznika W_2 , autotransformatora At , przełącznika P_{rz} i wyzwalaczy napięciowych, których obwody podłączone są do listw zaciskowych, odpowiednio DS 416 i APU 30A. Stanowisko jest wyposażone w układy zdalnego zamykania i otwierania badanych wyłączników, zespół zacisków służących do podłączenia kondensatorowego miernika czasu oraz mierniki do pomiaru prądu i napięcia. Rozmieszczenie elementów sterowniczych stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 8.4. Stanowisko to pozwala na sprawdzenie działania wyzwalaczy napięciowych: wzrostowego i zanikowego, wyzwalaczy elektromagnesowych i przekaźników nadprądowych w wyłączniku APU, jak też wyzwalacza wzrostowego i wyzwalacza zanikowego, członu przeciążeniowego długozwłocznego, zwarciovego krótkozwłocznego, zwarciovego bezzwłocznego i członu ziemnozwarciowego w wyłączniku DS.



Rys. 8.4. Rozmieszczenie elementów sterowniczych stanowiska pomiarowego

Stanowisko umożliwia pomiar czasu własnego wyłączników przy zamykaniu i otwieraniu oraz pomiar niejednoczesności zamykania i otwierania styków badanego wyłącznika.

8.3.3. Ogłędziny wyłączników

Zapoznać się z budową, przeznaczeniem i rozmieszczeniem poszczególnych elementów wyłączników samoczynnych APU-30A (rys. 8.5) i DS-416 (rys. 8.6). Sprawdzić ogólną jakość wykonania łączników oraz:

- zgodność oznaczeń i danych znamionowych umieszczonych na tabliczce znamionowej,
- zakres nastawialności wyzwalaczy i przekaźników,
- stan i przeznaczenie łączników pomocniczych,
- prześledzić układy wewnętrznych połączeń łączników,
- ustalić rodzaj napędu wyłącznika.

8.3.4. Badanie wyłącznika APU 30 A/1000

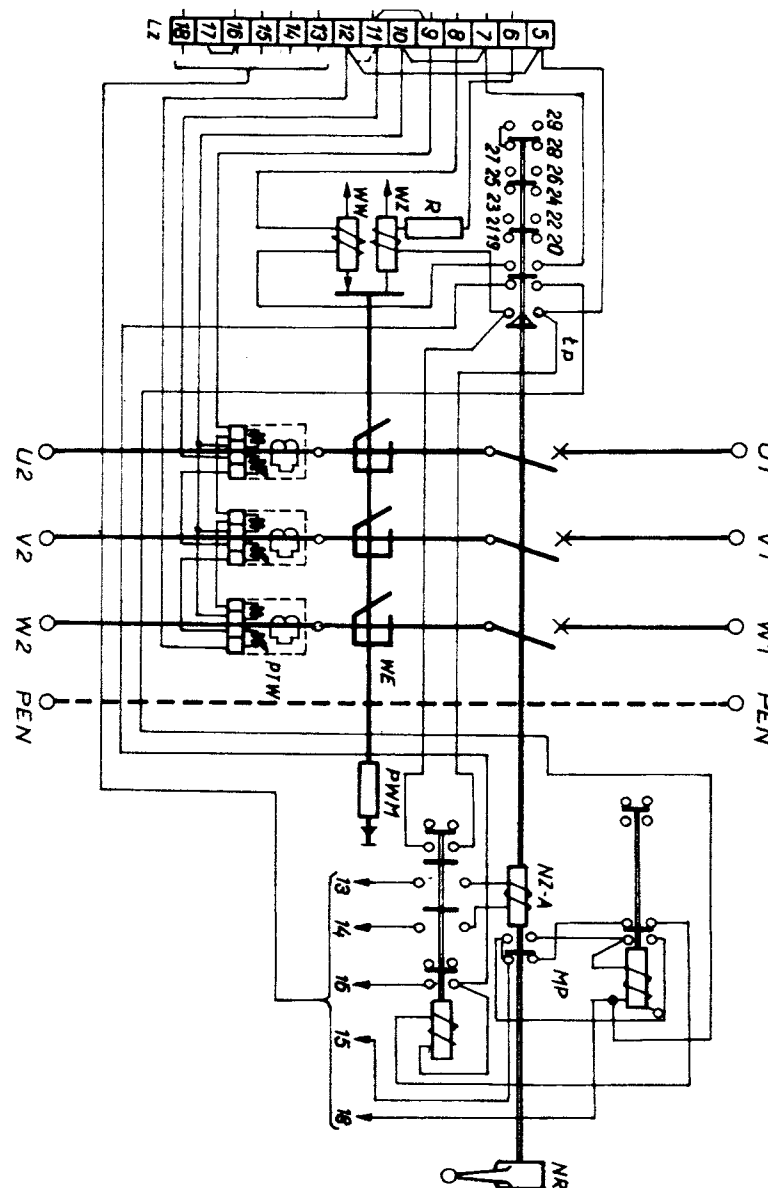
1. Sprawdzenie działania wyzwalaczy elektromagnesowych

Do prób używa się transformatora wieloprądowego. Żadaną wartość prądu nastawia się dławikiem. Pomiar prądu odbywa się za pomocą amperomierza przyłączonego do uzwojeń pomiarowych wbudowanych na stałe wewnątrz transformatora wieloprądowego.

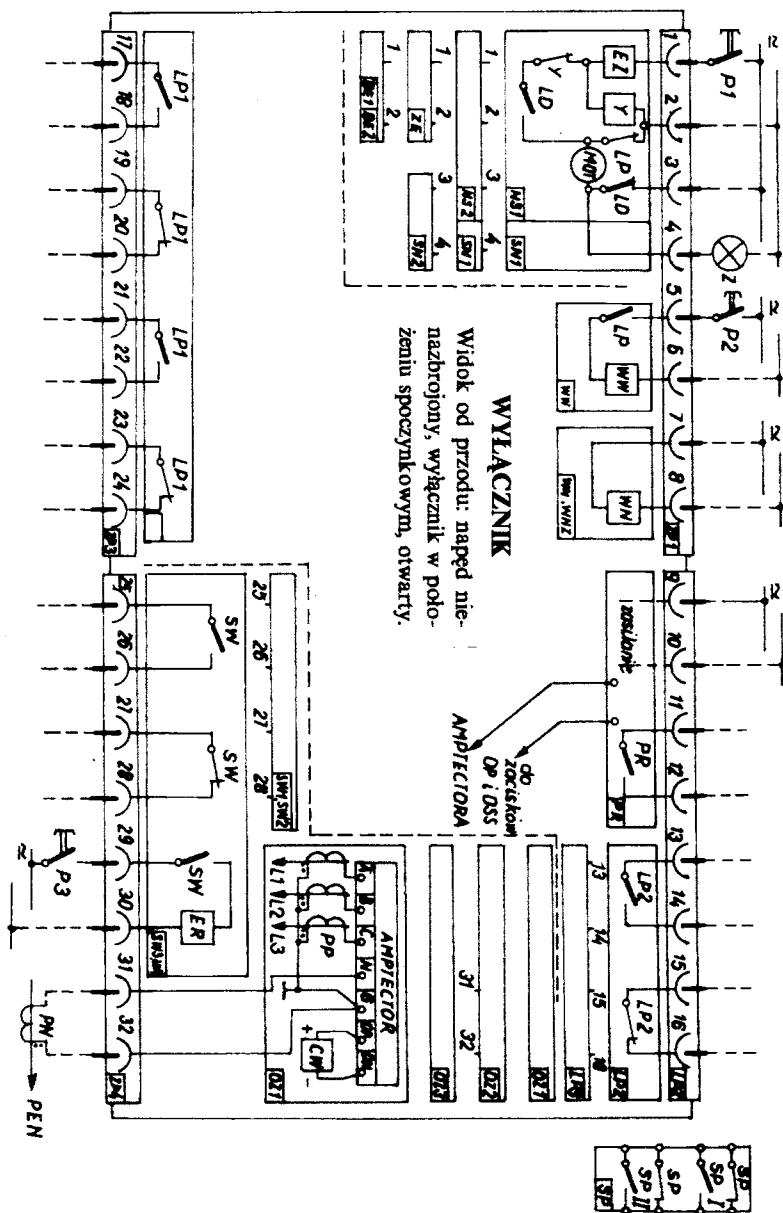
W ćwiczeniu próby przeprowadza się przy najniższej wartości prądu wyzwalacza, zmieniając od zera do 1,1 wartość prądu zadziałania. Próbę należy wykonać trzykrotnie. Wyzwalacze działają poprawnie, jeżeli po przekroczeniu nastawionej wartości prądu zadziałania następuje natychmiastowe otwarcie wyłącznika. Zakres nastawiania wyzwalaczy wynosi $0,7 \div 4$ kA.

Sposób postępowania przy badaniu:

- przełączniki *PTW* nastawiamy na wartość maksymalną prądu,
- przełączniki *P_{nz}* ustawiamy w pozycji „1” (na symbolu *APU*),
- zamykamy wyłącznik *W₂* podając napięcie na wyzwalacz zanikowy,
- przyciskiem *P_{z1}* lub ręcznie zamykamy wyłącznik *APU*,
- jednym z łączników *OZK* wybieramy żądany biegun wyłącznika (żądany wyzwalacz),
- zamykając wyłącznik *W₁* włączamy napięcie na transformator wieloprądowy do wartości, przy której następuje zadziałanie wyłącznika.



Rys. 8.5. Schemat połączeń wyłącznika APU-30 A z napędem ręcznym i elektromagnesowym: WE – wyzwalacz zanikowy, WN – wyzwalacz napięciowy wybijałowy, NR – napęd ręczny przedni, NZ – napęd elektromagnesowy, PTW – przełączniki nadprądowe wtórne, PWM – przycisk wyzwalający mechanicznie, Lz – listwa zaciskowa, St – stycznik pośredniczący napędu elektromagnesowego, b – bezpieczniki, G – grzejnik w obudowie



Rys. 8.6. Schemat połączeń obwodów sterowniczych i pomocniczych wyłącznika typu DS: P1 – przycisk załączający, P2 – przycisk wyłączający, P3 – przycisk odryglowania, PN – przekładnik prądowy przewodu neutralnego, EZ – elektromagnes zamykania, LP – łącznik pomocniczy obwodu sterowania, LD – łącznik drogowy zasobnika napędu, Y – przekaźnik antypompujący, WW – wyzwalacz napięciowy wzrostowy, WN – wyzwalacz napięciowy zanikowy, PP – przekładniki prądowe, CW – człon wyzwalający, ER – elektromagnes odryglowujący, SW1-3 – sygnalizację zadziałania wyzwalaczy nadprądowych, OZ1-4 – ochrona ziemnozwarciwa, NS1, NS2 – napędy silnikowe, SN1, SN2 – sygnalizacja nadbrojenia

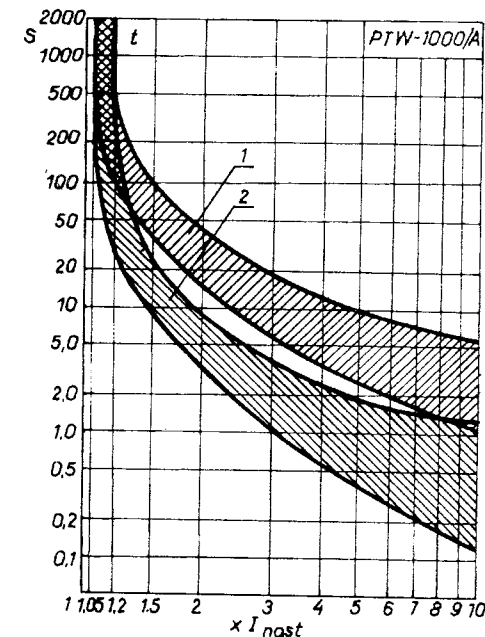
2. Sprawdzenie działania przekaźników nadprądowych (PTW)

Do zabezpieczenia odbiorów przed przeciążeniem są stosowane termiczne przekaźniki nadmiarowe o charakterystyce czasowo-prądowej zależnej (rys. 8.7), budowane dla różnych zakresów prądowych. Wartość prądu zadziałania przekaźnika działając otwiera obwód wyzwalacza nadmiarowego lub zamyka obwód wyzwalacza wzrostowego i powoduje za ich pośrednictwem otwarcie wyłącznika. Przekaźniki mają kompensację wpływu temperatury otoczenia w granicach (-10 do $+45^{\circ}\text{C}$). Do pracy w sieciach prądu przemiennego są przeznaczone przekaźniki termiczne wtórne PTW-1000/A, dobudowane do wyłączników i zasilane z własnych przekładników prądowych.

Postępowanie przy badaniu:

- 1) zamykamy badany wyłącznik,
- 2) przez zamknięcie jednego z łączników OZK (np. obw. I) wybieramy żądany przekaźnik, na którym nastawiamy maksymalną wartość prądu I_{nast} ,
- 3) zamykamy wyłącznik W_1 („tor prądowy”) i regulując dławikiem uzyskujemy żadaną wartość prądu (podaną poniżej), którym będziemy badać przekaźnik,
- 4) otwieramy „ W_1 ” i łącznik OZK, obw. I,
- 5) przekaźnik PTW badany (np. w obw. II) nastawiamy na wartość $I_{nast} = 230 \text{ A}$ i załączamy OZK w obw. II,
- 6) włączamy prąd do obwodu (zamykając W_1) i mierzymy czas do chwili otwarcia badanego wyłącznika,
- 7) wyłącznik W_1 ustawiamy w pozycji „0”.

Dla badanego przekaźnika wykonujemy pomiary dla podanych wartości prądu $I_b = 1,5 I_{nast}$, $I_b = 2 I_{nast}$, $I_b = 2,5 I_{nast}$ (I_b – prąd, którym badamy przekaź-



Rys. 8.7. Charakterystyka czasowo-prądowa przekaźnika termicznego typu PTW-1000/A: 1 – w stanie zimnym, 2 – w stanie nagrzanym

nik). Dla każdej wartości prądu I_b powtarzamy czynności wymienione w pozycjach od 1) do 7) po osiągnięciu przez badany przekładnik temperatury równej temperaturze otoczenia. Po przeprowadzeniu badań należy narysować charakterystykę $I_b = f(t)$.

3. Badanie wyzwalacza wzrostowego (WW)

Należy sprawdzić, czy przy napięciu zasilania równym $0,7 U_n$ wyzwalacz spowoduje otwarcie wyłącznika. Jeżeli tak, to wynik badania jest pozytywny.

4. Badanie wyzwalacza zanikowego (WZ)

Wyniki badań należy uznać za dodatnie jeżeli:

- przy napięciu $0,8 U_n$ wyłącznik można zamknąć,
- przy napięciu $0,65 U_n$ lub wyższym wyzwalacz nie otworzy wyłącznika,
- przy napięciu $0,35 U_n$ lub wyższym wyzwalacz zadziałał i spowodował otwarcie wyłącznika.

Wyniki badań obu typów wyzwalaczy zestawień w tabeli 8.1.

Tabela 8.1.

Wyniki badań wyzwalacza wzrostowego i zanikowego

Wyzwalacz napięciowy	Napięcie probiercze wyzwalacza	Stan wyłącznika	Podać tak lub nie
wzrostowy WW	zwiększać od 0 do $0,7 U_n$	otworzył się samoczynnie	
zanikowy WZ	$0,8 U_n$	można zamknąć	
	zmniejszać od U_n do $0,65 U_n$	otworzył się samoczynnie	
	zmniejszać od U_n do $0,35 U_n$	otworzył się samoczynnie	

Postępowanie przy badaniu.

Przełącznik P_{rz} („wybór wyzwalacza”) przestawić w pozycję „2” (przy badaniu wyzwalacza wzrostowego) lub pozycję „3” (przy badaniu wyzwalacza zanikowego). Zamknąć wyłącznik W_2 „tor napięciowy” i rozpocząć badania zmieniając za pomocą autotransformatora wartość napięcia podawanego na wyzwalacz. Wartość napięcia odczytujemy na woltomierzu znajdującym się na stanowisku.

8.3.5. Badanie wyłącznika DS-416

1. Zasada pracy wyzwalaczy nadprądowych

Zespół elektronicznych wyzwalaczy nadprądowych obejmuje:

- trzy przekładniki prądowe „PP”,
- blok elektroniczny „Amptector”,
- człon wyzwalający.

Blok elektroniczny zasilany z przekładników steruje członem wyzwalającym, przy przekroczeniu nastawionej wartości prądu powoduje otwarcie wyłącznika. Wyzwalacze przystosowane są do pracy przy częstotliwości 50 Hz.

Amptector jest blokiem elektronicznym realizującym funkcje:

- wytwarzanie sygnału proporcjonalnego do wartości prądu obciążenia i porównywanie go z wartościami nastawczymi poszczególnych członów L , S , I , G , D (tab. 8.2),
- przetwarzanie sygnału proporcjonalnego do wartości prądu na sygnał proporcjonalny do kwadratu prądu dla członu L ,
- odmierzenie czasu zwłoki dla członu L odwrotnie proporcjonalnego do kwadratu prądu dla członów S i G równego nastawionej wartości,
- wytwarzanie impulsu wyjściowego uruchamiającego człon wyzwalający, powodujący otwarcie wyłącznika.

Tabela 8.2.

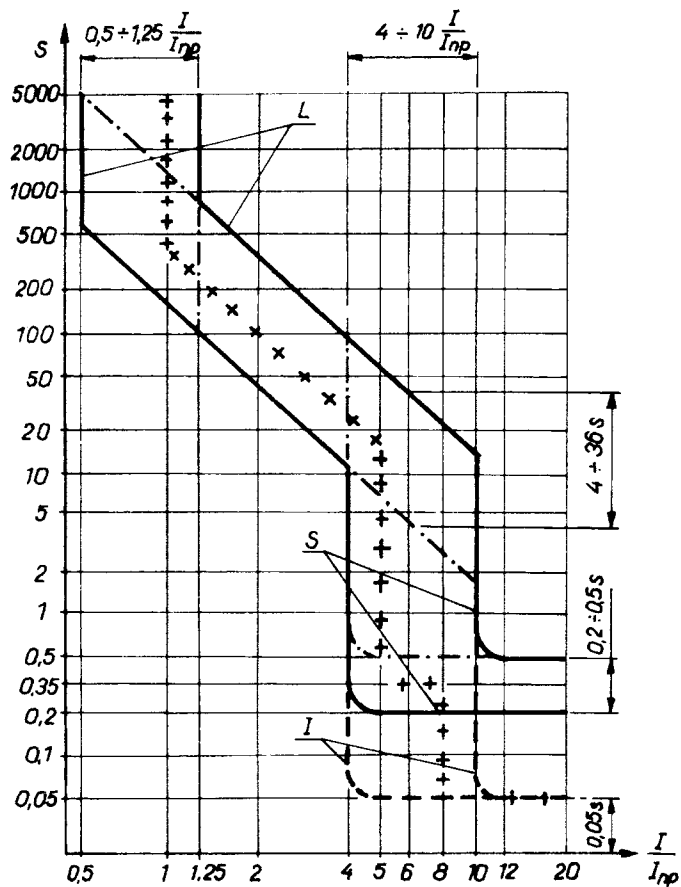
Człony nadprądowe badanego wyłącznika typu DS

Człon	Oznaczenie	Zakres nastawczy zadziałania	Zakres nastawczy czas zwłoki
Człon przeciążeniowy z długą zwłoką, zależną od prądu (odpowiednik wyzwalaczy termobimetalowych)	L	$0,5 \div 1,25 I_{np}^{1)}$	$4 \div 36$ s przy $6 \times I_{np}$
Człon zwarciový krótkozwłoczny	S	$4 \div 10 I_{np}$	$0,25 \div 0,5$ s
Człon zwarciový bezzwłoczny	I	$4 \div 10 I_{np}$	–
Człon ziemnozwarciowy	G	nienastawny równy $0,25 I_{np}$	$0,2 \div 0,5$ s
Człon dyskryminujący	D	$10 I_{np}$	–

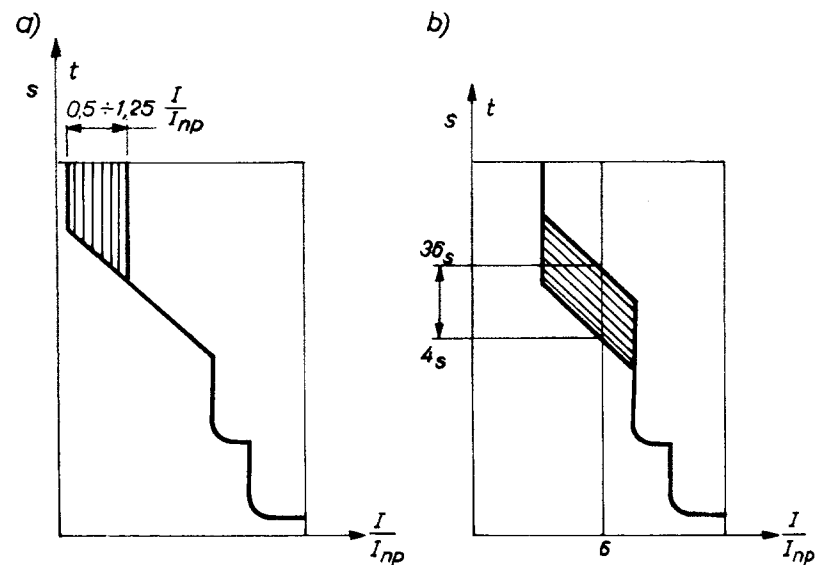
¹⁾ I_{np} – prąd znamionowy przekładnika

Amptector jest układem elektronicznym zblokowanym i zasilanym specjalną żywicą dla ochrony od drgań, wstrząsów i narażeń atmosferycznych. Amptector może

mieć 2÷4 członów w różnych kombinacjach. Badany wyłącznik ma człony L , S , I , G . Charakterystyki działania wyzwalaczy nadprądowych przedstawiono na rysunku 8.8. Charakterystyka działania członu L spełnia równanie $I^2 t = \text{const}$. Zmiany przebiegu charakterystyki członu L przy nastawieniu prądu i czasu przedstawiono na rysunku 8.9.



Rys. 8.8. Charakterystyka działania wyzwalaczy nadprądowych typu Amptector (linie ciągłe i przerywane) oraz przykładowa charakterystyka LSI (linia krzyżykowa) o nastawach: 1 – człon długozwłoczny L : $I = I_{np}$, $T = 10$ s; 2 – człon krótkozwłoczny S : $I = 5 I_{np}$, $T = 0,35$ s; 3 – człon szybki I : $I = i I_{np}$, I_{np} – prąd znamionowy przekładnika



Rys. 8.9. Zmiany przebiegu charakterystyki członu L przy zmianie nastawienia parametrów zadziałania: a) zmiana prądu zadziałania, b) zmiana czasu zwłoki

2. Sprawdzenie działania wyzwalaczy nadprądowych. Człon przeciążeniowy długozwłoczny

Przed przystąpieniem do badania należy: przełącznik znajdujący się na płycie czołowej wyłącznika przestawić w położenie „inne wyzwalacze” a następnie zamknąć badany wyłącznik, pamiętając aby przełącznik P_{rz} („rodzaj wyzwalacza”) znajdował się w pozycji „1”. Po wykonaniu tych czynności można włączyć zasilanie na wybrany tor DS-416, zamykając łącznik W_1 . Wartość prądu regulujemy dławikiem. Sprawdzenie polega na wykreśleniu charakterystyki działania wyzwalacza długozwłocznego przy nastawieniu prądu zadziałania $I_z = 0,5 I_{np}$, gdzie $I_{np} = 630$ A. Krotności prądów, którymi badamy wyzwalacz są następujące:

$$I_{b1} = 1 I_{np}, \quad I_{b2} = 1,25 I_{np}, \quad I_{b3} = 1,5 I_{np}, \quad I_{b4} = 1,75 I_{np}.$$

Dla przekładnika o prądzie $I_{np} = 160$ A badamy wyzwalacz prądami $I_{b1} = 1 I_{np}$, $I_{b2} = 2 I_{np}$, $I_{b3} = 3 I_{np}$, $I_{b4} = 4 I_{np}$. Czas od chwili zamknięcia W_1 do chwili otwarcia się badanego wyłącznika mierzymy za pomocą stopera. Podając na tor

prąd o wartości $I_b = 6 I_{np}$ możemy sprawdzić czy wyłącznik otwiera się przy czasie $4 \div 36$ s, nastawionym odpowiednim pokrętelem znajdującym się na płycie czołowej wyłącznika. Wyniki zestawiamy w tabeli 8.3. Wykreślić należy zależność $t = f(I_b)$.

Tabela 8.3.

Wyniki badania wyzwalacza nadprądowego

Prąd zadziałania	Prąd płynący przez tor [A]	Czas do chwili zadziałania [s]
$I_z = 0,5 I_{np}$	$I_{b1} =$	$t_1 =$
	$I_{b2} =$	$t_2 =$
	$I_{b3} =$	$t_3 =$
	$I_{b4} =$	$t_4 =$

3. Człon zwarciový krótkozwłoczny i bezzwłoczny

1. Zamykamy wyłącznik DS-416 (P_{rz} w pozycji „1”).
2. Łącznikiem OZK wybieramy badany biegun wyłącznika.
3. Badany człon nastawiamy na prąd $I = 4 I_{np}$.
4. Zamykamy „ W_1 ” i dławikiem regulujemy wartość płynącego prądu.

Wynik badania jest pozytywny, jeżeli wyłącznik otworzył się przy przepływie prądu o nastawionej wartości.

Pozostałe wyzwalacze powinny być ustawione na maksymalny zakres prądu zadziałania i czasu zwłoki. W wypadku członu krótkozwłoczny czas opóźnienia możemy regulować w granicach $0,2 \div 0,5$ s.

4. Sprawdzenie działania członu ziemnozwarciowego

Przed przystąpieniem do badania należy przełącznik znajdujący się na płycie czołowej DS-416 przestawić w położenie „ziemnozwarciowy”. Operacje łączeniowe przeprowadzamy podobnie jak przy badaniu innych członów, pamiętając że człon ziemnozwarciowy traktuje zasilanie tylko jednego toru prądowego jako zwarcie jednofazowe z ziemią. Wynik badania jest pozytywny, jeżeli przy zasilaniu prądem $0,25 I_{np}$ wyłącznik otworzy się samoczynnie. Czas opóźnienia zadziałania możemy regulować w granicach $0,2 \div 0,5$ s.

5. Wyzwalacz napięciowy wzrostowy (WW)

Wyzwalacz napięciowy wzrostowy powinien spowodować otwarcie wyłącznika znajdującego się w stanie zamkniętym w przypadku podania na jego zaciski napięcia od $0,7$ do $1,2 U_n$. Cewka wyzwalacza połączona jest szeregowo ze stykiem rozwiernym łącznika LP (rys. 8.6), który po otwarciu wyłącznika przerywa obwód cewki.

Sposób postępowania

- 1) Przełącznik „wybór wyzwalacza” ustawiamy w pozycji „2”.
- 2) Zamykamy wyłącznik „tor napięciowy”.
- 3) Nazbrajamy sprężyny wyłącznikiem „nazbrojenie sprężyn”.
- 4) Zamykamy badany wyłącznik przyciskiem zamykającym (P_{z2}).
- 5) Pokrętelem „autotransformator” regulujemy napięcie podawane na wyzwalacz wzrostowy od 0 do wartości, przy której nastąpi samoczynne otwarcie wyłącznika.

Pomiary wykonujemy trzykrotnie i wyniki zestawiamy w tabeli 8.4.

Tabela 8.4.

Wyniki badań wyzwalaczy

Wyzwalacz napięciowy	Napięcie probiercze wyzwalacza	Stan wyłącznika	Podać tak lub nie
wzrostowy	zwiększać od 0 do $0,7 U_n$	otworzył się samoczynnie	
zanikowy	$0,85 U_n$	można zamknąć	
	zmniejszać od U_n do $0,7 U_n$	otworzył się samoczynnie	
	zmniejszać od U_n do $0,35 U_n$	otworzył się samoczynnie	

6. Wyzwalacz niedomiarowy bezzwłoczny (WN)

Działanie wyzwalacza jest następujące.

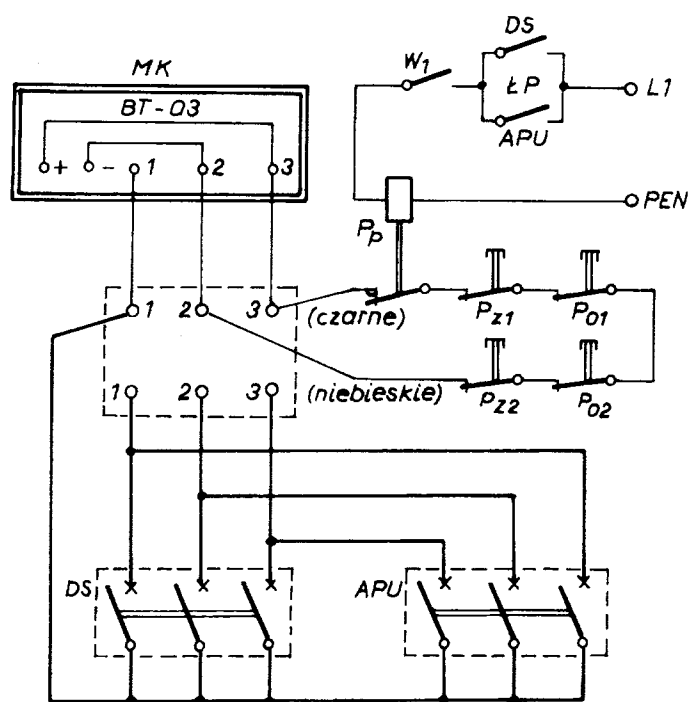
Jeżeli wyłącznik znajduje się w stanie zamkniętym, wyzwalacz nie powoduje otwarcia wyłącznika, gdy napięcie jest większe od $0,7 U_n$. Wyzwalacz powoduje otwarcie wyłącznika przy napięciu mniejszym lub równym $0,35 U_n$.

Przy napięciu w granicach od $0,35$ do $0,7 U_n$ wyzwalacz może spowodować otwarcie wyłącznika. Zamknięcie wyłącznika jest możliwe przy napięciu $0,85 U_n$ lub większym, a niemożliwe przy napięciu mniejszym lub równym $0,35 U_n$.

Aby sprawdzić działanie wyzwalacza WN, należy przełącznik „rodzaj wyzwalacza” ustawić w pozycji „3” i rozpocząć badanie jak w punkcie poprzednim, wykonując pomiary trzykrotnie. Wynik należy zestawić w tabeli 8.4.

7. Pomiar charakterystycznych czasów badanych wyłączników

Pomiar należy wykonać miernikiem kondensatorowym typu BT-03, zwanym dalej MK. Schemat układu połączeń stanowiska przy zastosowaniu tego miernika przedstawiono na rysunku 8.10.



Rys. 8.10. Schemat układu połączeń stanowiska do pomiaru charakterystycznych czasów badanych wyłączników

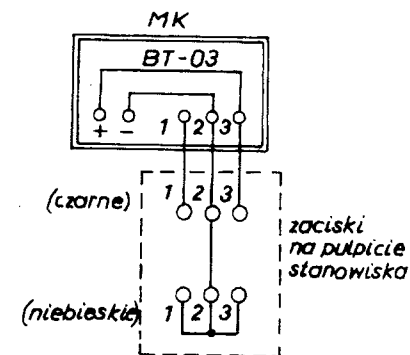
A. Pomiar czasu własnego wyłączników

Czas własny wyłącznika przy otwieraniu jest to czas od chwili zadziałania wyzwalacza lub przekątnika powodującego otwarcie wyłącznika do chwili utraty styczności styków we wszystkich biegunach. Czas własny wyłącznika przy otwieraniu jest więc sumą czasu własnego wyzwalacza lub przekątnika i czasu własnego mechanizmu napędowego. Czas własny wyłącznika przy zamykaniu jest to czas od chwili podania impulsu przyciskiem zamykającym do chwili zamknięcia ostatniego styku wyłącznika.

Postępowanie przy badaniu:

- 1) przyłączamy miernik *Mk* (rys. 8.11) do zacisków na pulpicie oznaczonych kolorem czarnym;
- 2) przełącznik P_{rz} „rodzaj wyzwalacza” ustawiamy w położeniu „1”;
- 3) zamykamy wyłącznik W_2 „tor napięciowy”;
- 4) włączamy miernik *MK* do sieci. Przeprowadzamy jego kalibrowanie i zerowanie a następnie ustawiamy przełącznik w położenie pomiarów;
- 5) przyciskiem P_z zamykamy badany wyłącznik i odczytujemy czas własny przy zamykaniu (w przypadku DS-416 przed zamknięciem należy nazbroić wyłącznik);
- 6) po zamknięciu badanego wyłącznika miernik *MK* zerujemy i przestawiamy w pozycję „pomiar”;
- 7) przyciskiem P_o otwieramy wyłącznik i odczytujemy czas własny przy otwieraniu.

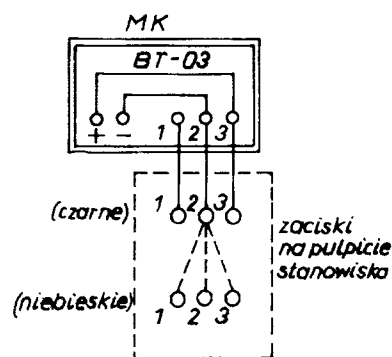
Pomiar należy wykonać trzykrotnie i podać wartość średnią czasu własnego wyłącznika przy otwieraniu i zamykaniu.



Rys. 8.11. Sposób przyłączenia miernika do pomiaru czasu własnego wyłączników

B. Pomiar niejednoczesności otwierania się styków wyłączników

Zacisk „Z” na płycie stanowiska łączymy kolejno z zaciskami 1, 2, 3 (rys. 8.12). Pomiary wykonujemy trzykrotnie dla każdego bieguna wyłącznika i podajemy średnie czasy opóźnień.



Rys. 8.12. Sposób przyłączenia miernika do pomiaru niejednoczesności otwierania się styków wyłączników

W ćwiczeniu należy ustalić, który biegun wyłącznika otwiera się i zamyka pierwszy oraz podać czas opóźnienia pozostałych biegunów względem pierwszego.

C. Pomiar czasu zadziałania członu zwarciovego krótkozwłocznego i członu ziemnozwarciowego dla wyłącznika DS-416

Postępowanie przy badaniu:

- 1) miernik MK łączymy jak na rysunku 8.11 i zerujemy;
- 2) przełącznik P_{z2} ustawiamy w pozycji „1”;
- 3) zamykamy wyłącznik W_2 „tor napięciowy”;
- 4) zamykając wyłącznik W_3 „nazbieramy” sprężyny napędu;
- 5) przyciskiem P_{z2} zamykamy wyłącznik DS-416;
- 6) pokrętle na tablicy DS-416 nastawiamy prąd zadziałania dla członu zwarciovego krótkozwłocznego na wartość maksymalną;
- 7) zamykamy wyłącznik W_1 „tor prądowy” i za pomocą dławika Dl nastawiamy żadaną wartość prądu (dla członu krótkozwłocznego $I_{nast} > 4I_{np}$, gdzie $I_{np} = 160 \text{ A}$, a dla członu ziemnozwarciowego $I_{nast} > 4I_{np}$;
- 8) następnie otwieramy W_1 i nastawiamy prąd zadziałania na wartość $I_{nast} = 4I_{np}$;
- 9) miernik MK ustawiamy w pozycji „pomiar”, zamykamy W_1 i odczytujemy wartość czasu zadziałania.

Czas zadziałania dla obu członów można regulować w zakresie $0,2 \div 0,5 \text{ s}$.

8.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki pomiarów zestawiać w tabelach. Na podstawie uzyskanych rezultatów badań i pomiarów wykonać ocenę badanych wyłączników. Podać wnioski dotyczące zakresu stosowania wyłączników tych typów.

Ćwiczenie 9

BADANIE NAGRZEWANIA SIĘ PRZEWODÓW POD WPLYWEM PRĄDU

9.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów ze zjawiskami cieplnymi występującymi przy różnych obciążeniach przewodów typu *DY* prądem przemiennym i stałym, ułożonych w rurkach stalowych i winidurowych.

9.2. Wiadomości podstawowe

Bilans energetyczny przewodu wykonanego z jednorodnego materiału, o jednakowym przekroju na całej długości i o jednakowych warunkach chłodzenia na całej powierzchni, można zapisać wzorem

$$p dt = s l c d \vartheta + k S l (\vartheta - \vartheta_o) dt \quad (9.1)$$

w którym:

- p – moc chwilowa, tracona w przewodniku [W],
- t – czas [s],
- s – przekrój przewodu [cm²],
- l – długość rozpatrywanego odcinka [cm],
- c – ciepło właściwe materiału przewodowego [J · cm⁻³ · K⁻¹],
- ϑ – temperatura przewodu (żyły przewodu) [°C],
- ϑ_o – temperatura otoczenia [°C],
- k – współczynnik oddawania ciepła [W · cm⁻² · K⁻¹],
- S – powierzchnia zewnętrzna jednostki długości przewodu [cm² · cm⁻¹].

Pierwszy wyraz prawej strony równania (9.1) wyraża ilość ciepła zużytą do podniesienia temperatury żyły przewodu o $d\vartheta$, drugi wyraz – ilość ciepła oddawanego przez przewód do otoczenia.

Przy rozpatrywaniu nagrzewania się przewodu pod wpływem prądu przemiennego o stałej wartości skutecznej I (prądu stałego o wartości I) możemy obliczyć moc traconą

$$P = k_d l^2 \rho \frac{l}{s} \quad (9.2)$$

przy czym:

k_d – współczynnik strat dodatkowych wywołanych wpływem zmiennych pól magnetycznych ($1 < k_d < 1,15$),

ρ – rezystywność materiału przewodowego [Ω · cm].

Podstawiając zależność (9.2) do wzoru (9.1) oraz zakładając, że wartości występujących w równaniach (9.1) i (9.2) wielkości k_d, ρ, s, k są niezmiennicze, otrzymamy wzór

$$\vartheta - \vartheta_o = \frac{k_d \rho}{k S s} l^2 (1 - e^{-t/T}) + (\vartheta_p - \vartheta_o) e^{-t/T} \quad (9.3)$$

Na podstawie wzoru (9.3) możemy obliczyć wzrost temperatury przewodu ponad temperaturę otoczenia, przy czym:

$$T = \frac{c s}{k S} \quad (9.4)$$

We wzorze (9.3):

t – czas od chwili rozpoczęcia obserwacji zjawiska [s],

ϑ_p – temperatura początkowa przewodu w chwili początkowej [°C],

ϑ – temperatura przewodu po czasie t [°C].

Ponieważ $T > 0$, wyrażenie $e^{-t/T}$ dąży do zera, a temperatura ϑ przewodu dąży do wartości ustalonej $\vartheta = \vartheta_u$. Otrzymamy więc

$$\vartheta_u - \vartheta_o = \lim_{t \rightarrow \infty} (\vartheta - \vartheta_o) = \frac{k_d \rho}{k S s} I^2 \quad (9.5)$$

Oznaczając przyrosty temperatury

$$\vartheta - \vartheta_o = \tau; \quad \vartheta_u - \vartheta_o = \tau_u; \quad \vartheta_p - \vartheta_o = \tau_p$$

i podstawiając wyrażenie (9.5) do równania (9.3) otrzymamy równanie krzywej nagrzewania dla dowolnej temperatury ϑ_o

$$\tau_u - \tau = (\tau_u - \tau_p) e^{-t/T} \quad (9.6)$$

Gdy przewód na początku obserwacji ma temperaturę otoczenia ($\vartheta_p - \vartheta_o$), zależność (9.6) upraszcza się do postaci

$$\tau = \tau_u (1 - e^{-t/T}).$$

Ciepłna stała czasowa T . Wielkość T ma wymiar czasu. Jest ona proporcjonalna do jednostkowej pojemności (na jednostkę długości) cieplnej przewodu cs , a odwrotnie proporcjonalna do jednostkowej (na jednostkę długości) mocy oddawanej przez przewód do otoczenia kS przy różnicy temperatury 1 K. Wartość stałej czasowej nie zależy od rezystywności przewodu ani od natężenia płynącego prądu.

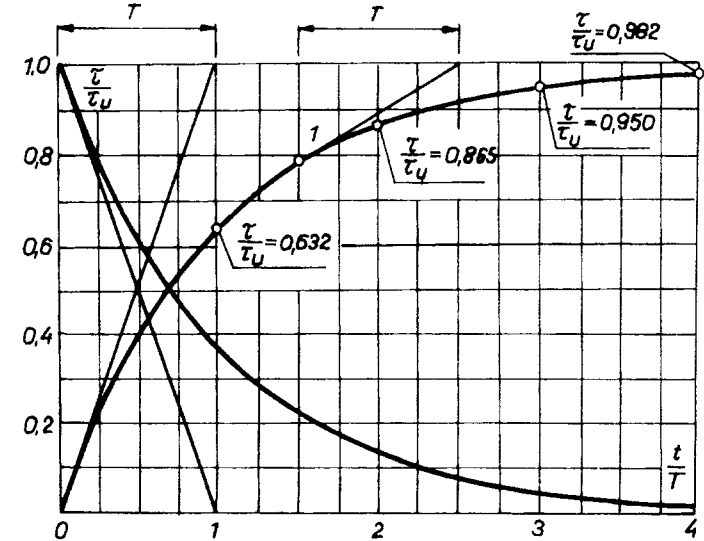
Jeżeli założymy, że przewód nie oddaje ciepła do otoczenia ($k = 0$), to z wzorów (9.1) i (9.2) otrzymamy

$$\vartheta - \vartheta_o = \vartheta_u - \vartheta_o.$$

Wynika stąd, że ciepłna stała czasowa jest równa czasowi, po którym przewód całkowicie cieplnie odizolowany osiągnąłby temperaturę równą temperaturze ustalonej przy zwykłej wymianie ciepła.

Funkcję $\tau / \tau_u = f(t/T)$ charakteryzującą przebieg nagrzewania się dowolnego przewodu o temperaturze równej temperaturze otoczenia, przedstawiono na rysunku 9.1. Na rysunku tym zaznaczono wartości funkcji $\tau / \tau_u = f(t/T)$ dla

$t/T = 1, 2, 3, 4$. Po czasie $t = (3-4)T$, temperatura przewodu praktycznie ustala się. Jeżeli mamy przebieg krzywej $\tau / \tau_u = f(t/T)$, możemy graficznie wyznaczyć wartość stałej T kreśląc styczną w dowolnym punkcie krzywej nagrzewania. Długość podstycznej mierzona na prostej $\tau / \tau_u = 1$ jest równa ciepłej stałej czasowej (rys. 9.1).



Rys. 9.1. Nagrzewanie się i stygnięcie przewodów obciążonych prądem o stałym natężeniu: 1—krzywa nagrzewania, 2—krzywa stygnięcia

Stygnięcie przewodnika. Jeżeli przerwiemy obwód prądu przepływającego przez przewodnik, przewodnik będzie stygnąć, a temperatura jego będzie spadać od wartości początkowej ϑ_p do temperatury otoczenia ϑ_o . Krzywą stygnięcia otrzymamy, jeżeli do równania (9.6) podstawimy $\tau_u = 0$

$$\tau = \tau_p e^{-t/T} \quad (9.7)$$

Jeżeli przewód był nagrzewany do temperatury ustalonej

$$\tau = \tau_u e^{-t/T} \quad (9.8)$$

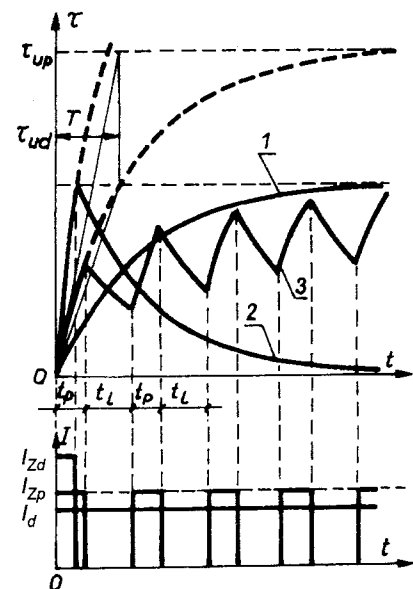
Wykres funkcji (9.8) przedstawiono na rysunku 9.1.

Dopuszczalna temperatura nagrzewania się przewodów. Nagrzewanie się przewodów podlega ograniczeniom do wartości temperatury granicznej, określonych przepisami. Wartości te uwzględniają szkodliwy wpływ przegrzania na:

- wytrzymałość mechaniczną żyły przewodu,
- stan izolacji,
- zestyki,
- otoczenie.

Wymienionymi okolicznościami uzasadnia się ustalenie wartości temperatury granicznej (ϑ_g):

- temperaturę dopuszczalną długotrwale ϑ_{gd} ,
- temperaturę dopuszczalną przejściowo ϑ_{gp} ,
- temperaturę dopuszczalną przy zwarciach ϑ_{gz} .



Rys. 9.2. Zmiany temperatury przewodu przy obciążeniu długotrwałym (1), dorywczym (2) i przerywanym (3): τ_{ud} – ustalony przyrost temperatury przy obciążeniu prądem I_d , τ_{up} – ustalony przyrost temperatury przy obciążeniu prądem I_{zp} , t_p – czas pracy (przepływu prądu), t_l – czas postoju (bezprądowy)

Rodzaje obciążeń. Długotrwałe obciążenia występują w praktyce stosunkowo rzadko, stanowią one jednak bardzo dogodną podstawę do ustalania obciążalności prądowej przewodów. Obciążenie utrzymujące się przez czas dłuższy niż 3÷4 ciepłe stałe czasowe jest praktycznie długotrwałe, gdyż temperatura przewodu osiąga wartość

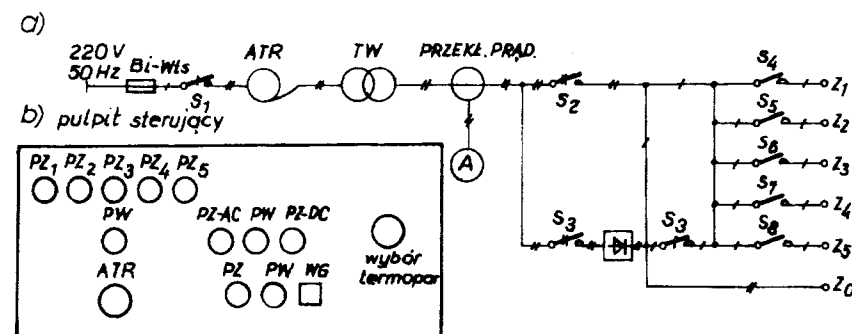
niewiele różniącą się od wartości ustalonej.

W większości przypadków obciążenie przewodów ulega zmianom. Obciążenie prądem o natężeniu zmiennym w dowolny sposób, rozpoczynające się przy początkowej temperaturze przewodu, równej temperaturze otoczenia, i trwające przez czas nie wystarczający do ustalenia się przyrostu temperatury nawet przy niezmiennym natężeniu prądu nazywa się **obciążeniem dorywczym**. Obciążenie zmienne o powtarzających się na przemian okresach obciążenia i przerwach przepływu prądu nazywa się **obciążeniem przerywanym**. Na rysunku 9.2 zilustrowano przebieg nagrzewania się jednego przewodu przy obciążeniu długotrwałym

dorywczym i przerywanym, przy takim obciążeniu, że w każdym przypadku osiągnięty jest jednakowy przyrost temperatury.

9.3. Przebieg ćwiczenia

1. Przeprowadzić w układzie przedstawionym na rysunku 9.3 badanie nagrzewania się przewodów obciążonych prądem I_Z stałym lub przemiennym. Wartości prądu I_Z podano w tabeli 9.1.



PRĄD PRZEMIENNY	KOLEJNOŚĆ ZAŁĄCZANIA
WG	PRĄD STAŁY
PZ	WG
PZ – AC	PZ
PZ1 – PZ5 (w zależności od wybranego obwodu)	PZ – DC
	PZ1 – PZ5 (w zależności od wybranego obwodu)

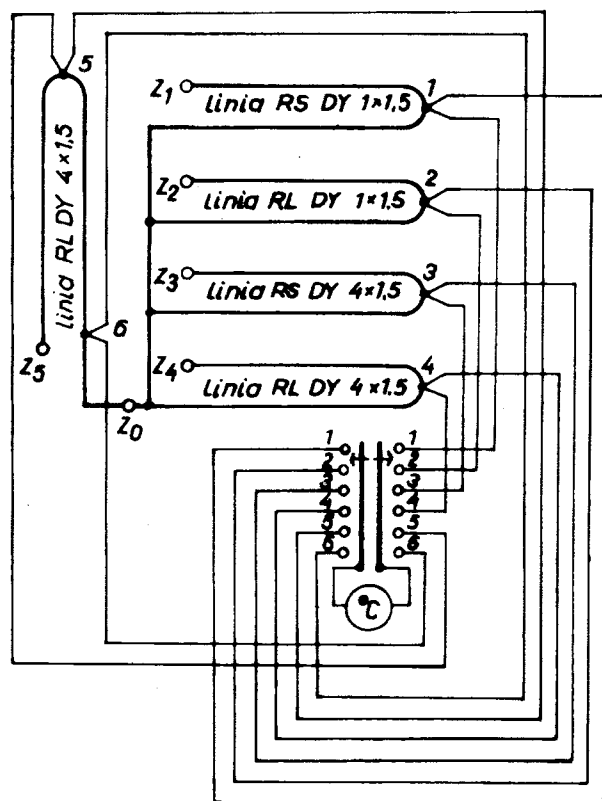
Rys. 9.3. Schemat ideowy obwodów prądowych (a) i sposób ich załączania (b)

Tabela 9.1.

Obciążalność długotrwała (I_Z) przewodów ułożonych w rurkach

Wariant	Przewody typu	Liczba przewodów we wspólnej rurce	I_Z [A]
A	DY 1,5	1	22
B		4	15
$\vartheta_{gd} = 70^\circ\text{C}$			

- 1.1. Dla wybranej przez prowadzącego linii (jedno- i czteroprzewodow) wykonać co 15 s pomiary temperatury przewodów od temperatury otoczenia do temperatury ustalonej (5 kolejnych powtarzających się wynik pomiarów). Rozmieszczenie termopar podano na rysunku 9.4. Dla li 4×DY 1,5 prąd płynący w przewodzie jest równy 0,25 wartości prądu (czytanego z amperomierza).



Rys. 9.4. Rozmieszczenie termopar w badanych liniach

- 1.2. Wyznaczyć graficznie ciepłą stałą czasową i najwyższy przyrost temperatury.
1.3. Wykonać badania porównawcze dla przewodów ułożonych w rurkach stalowych i winidurkowych.
1.4. Dla linii pionowej wykonać pomiary temperatury żyły przewodu (termopary i 6) przy obciążeniu I_Z .

2. Sprawdzić jaki cykl pracy dorywczej należy dobrać, aby przy prądzie $2,0 I_Z$ oraz $3,0 I_Z$ nie przekroczyć temperatury ustalonej na podstawie pomiarów wykonanych w punkcie 1.1. Pomiary należy wykonać dla przewodu DY 1,5.
3. Dla linii 4×DY 1,5 wykonać pomiary temperatury przewodów przy obciążeniu prądem stałym i przemiennym o wartości I_Z (od temperatury otoczenia do temperatury ustalonej).
4. Dla zadanych przez prowadzącego cykli pracy przewodu (tab. 9.2) wyznaczyć ich liczbę, przy której przewód osiągnie temperaturę ϑ_{gd} .

Tabela 9.2.
Zestawienie obciążenia (I_d) zmiennego dla przewodu DY 1,5

Lp.	I_d [A]	t_p [min]	t_l [min]
1	30	0,5	2,0
2	30	0,5	1,0
3	40	0,5	2,0
4	40	0,5	3,0
5	25	2,0	1,0
6	25	2,0	2,0
t_p, t_l – według rysunku 9.2			

5. Obliczyć z podanego poniżej wzoru największą dopuszczalną wartość prądu I_{Zp} przy pracy przerywanej o równych cyklach pracy i stałych wartościach prądu (rys. 9.2)

$$I_{Zp} = I_Z \sqrt{\frac{1 - e^{-t_p/\alpha_p T}}{1 - e^{-t_p/T}}} \quad (9.9)$$

w którym t_p według rysunku 9.2.

We wzorze (9.9):

$$\alpha_p = \frac{t_p}{t_p + t_l} \text{ – względny czas pracy,}$$

t_l – według rysunku 9.2,

T – stała czasowa, wyznaczona według punktu 1.

Obliczenia należy wykonać dla wskazanych przez prowadzącego danych (tab. 9.3).

Tabela 9.3.

Zestawienie danych do obliczenia prądu I_{zp}

Lp.	Rodzaj przewodu	t_p [min]	t_l [min]
1	DY 1,5	0,5	1,0
2	DY 1,5	1,0	2,0
3	DY 1,5	0,25	2,0
4	4 × DY 1,5	0,5	1,0
5	4 × DY 1,5	1,0	2,0
6	4 × DY 1,5	0,25	2,0

9.4. Opracowanie wyników badań

Protokół powinien zawierać:

- zestawienie badanych przewodów i rodzaju ich obciążenia,
- wykresy zależności $\vartheta = f(t)$,
- uwagi i wnioski.

Ćwiczenie 10

BADANIE ZJAWISK CIEPLNYCH I ELEKTROMAGNETYCZNYCH PRZY PRZEPŁYWIE PRĄDÓW ZWARCIOWYCH

10.1. Cel i zakres ćwiczenia

Podczas ćwiczenia student ma ugruntować wiadomości dotyczące cieplnych i elektromagnetycznych oddziaływań prądów zwarciovych na szyny zbiorcze, które stosuje się w rozdzielnicach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia. Ćwiczenie jest realizowane na modelu układu szynowego.

10.2. Wiadomości podstawowe

Wartości prądów zwarciovych są wielokrotnie większe niż wartości prądów roboczych (występujących w zwykłych warunkach ruchowych) a czas ich przepływu nie przekracza kilku sekund. Pozwala to w obliczeniach cieplnych pomijać ciepło oddawane do otoczenia przez nagrzewający się przewodnik, jeżeli czas tego procesu jest mniejszy od jednej dziesiątej cieplnej stałej czasowej.

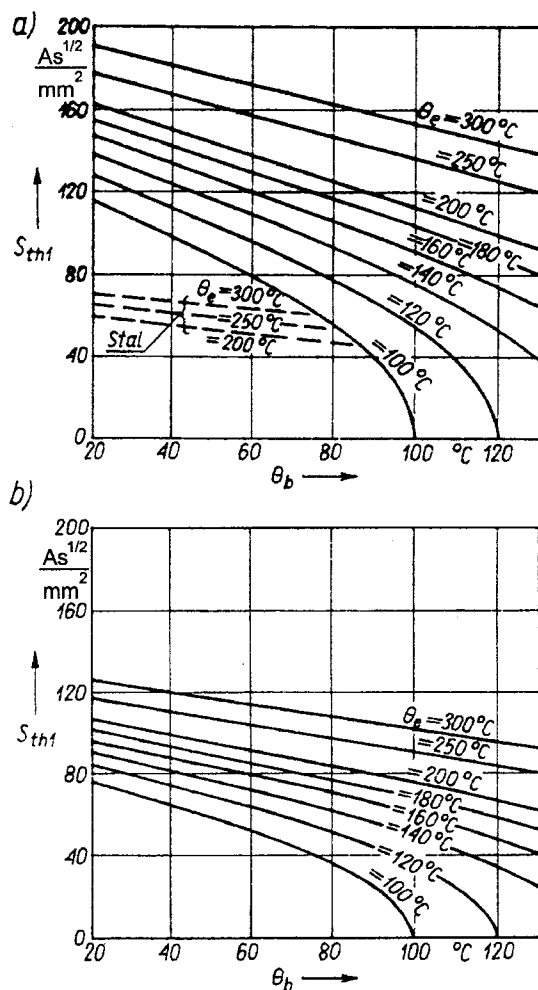
Wytrzymałość cieplna gołych przewodów podczas zwarcia jest wystarczająca, jeżeli gęstość prądu zwarciovego S_{th} spełnia zależność

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (10.1)$$

w której:

S_{thr} – dopuszczalna,

T_{kr} – sekundowa gęstość prądu zwarciovego (rys. 10.1); przy $T_{kr} = 1$ s zależność (10.1) jest ważna dla dowolnych czasów T_k .



Rys. 10.1. Zależność znamionowej gęstości prądu jednosekundowego S_{th1} od temperatury: a) dla przewodów miedzianych i stalowych, b) dla przewodów aluminiowych, stalowo-aluminiowych i ze stopów aluminiowych; θ_b – temperatura przewodu przed zwarciem, θ_e – temperatura graniczna dopuszczalna (w końcu zwarcia)

Gęstość prądu zwarcowego S_{th} jest ilorazem prądu I_{th} i przekroju przewodu s . Z zależności (10.1) możemy wyznaczyć przekrój przewodu

$$s \geq s_{\min} = \frac{I_{th}}{S_{thr}} \sqrt{\frac{T_k}{T_{kr}}} \quad (10.2)$$

Jeżeli przyjmiemy $T_{kr} = 1$ s to

$$s \geq I_{th} \frac{\sqrt{T_k}}{S_{th1}} \quad (10.3)$$

przy czym S_{th1} – dopuszczalna jednosekundowa gęstość prądu zwarcowego wyznaczona z rysunku 10.1 dla przewodu wykonanego z określonego materiału, przy założeniu dopuszczalnej temperatury przewodu w końcu trwania zwarcia (tab. 10.1).

Tabela 10.1.

Zalecana najwyższa temperatura θ_e przewodów przy zwarciu

Rodzaje przewodów	θ_e , °C
Przewody gołe sztywne lub giętkie, Al lub Cu obciążone mechanicznie	200
Przewody ze stopów aluminium	170
Przewody stalowe obciążone mechanicznie	250
Przewody stalowe nie obciążone mechanicznie	300

Zgodnie z dodatkowymi postanowieniami normy PN-90/E-05025 najwyższą temperaturę przewodów miedzianych podczas zwarcia można przyjmować jako równą 300°C, jeżeli nie powoduje to uszkodzenia materiałów izolacyjnych stykających się z przewodem. Temperaturę przewodów przed zwarciem należy przyjmować jako równą 50°C.

Prądy w przewodach równoległych powodują występowanie sił elektromagnetycznych między tymi przewodami. Gdy przewody są długie, w porównaniu z odstępem między nimi, siły są rozłożone równomiernie wzdłuż przewodów. Przewody traktuje się jako długie, gdy ich długość jest co najmniej pięciokrotnie większa od odległości między nimi.

Gdy prądy płynące w przewodach mają kierunki przeciwne, siła elektromagnetyczna odpycha przewody, dążąc do ich odkształcenia w taki sposób, aby zwiększyć indukcyjność obwodu.

Siła między dwoma przewodami jest proporcjonalna do kwadratu prądu lub do iloczynu dwóch prądów płynących w tych przewodach. Ponieważ prąd jest funkcją czasu, siła jest także funkcją czasu. W przypadku prądu zwarciowego, który nie zawiera składowej nieokresowej, siła zmienia się z częstotliwością podwójną w stosunku do częstotliwości prądu. Składowa nieokresowa powoduje zwiększenie wartości szczytowej siły oraz wystąpienie składowej siły zmieniającej się z częstotliwością równą częstotliwości prądu. Wartość szczytowa siły ma szczególne znaczenie w przypadku przewodów sztywnych.

Działanie siły na przewody powoduje występowanie w tych przewodach naprężeń zginających, jeżeli są to przewody sztywne. W przewodach giętkich występują naciągi i wychylenia przewodów.

Siły elektromagnetyczne, działające między dwoma przewodami równoległymi, można obliczyć, w niutonach, z zależności

$$F = 0,2 \cdot i_1 i_2 \frac{l}{a} \quad (10.4)$$

w której:

l – odległość między podporami [m],

i_1, i_2 – wartości chwilowe prądów w przewodach [kA],

a – odstęp między osiami przewodów [m].

Prądy o kierunkach zgodnych powodują przyciąganie przewodów, prądy o kierunkach przeciwnych – odpychanie.

Wyznaczenie siły elektromagnetycznej w równolegle ułożonych szynach płaskich można przeprowadzić na podstawie pomiarów strzałki ugięcia. Badane szyny można traktować jako belki umocowane sztywno dwustronnie i obciążone równomiernie na całej długości. Wartość siły oddziaływania elektromagnetycznego oblicza się według zależności:

$$F = \frac{384 E J f_y}{l^3} \quad (10.5)$$

w której:

f_y – strzałka ugięcia [cm],

E – moduł sprężystości materiału szyny [$\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$],

J – moment bezwładności przekroju szyny [cm^4].

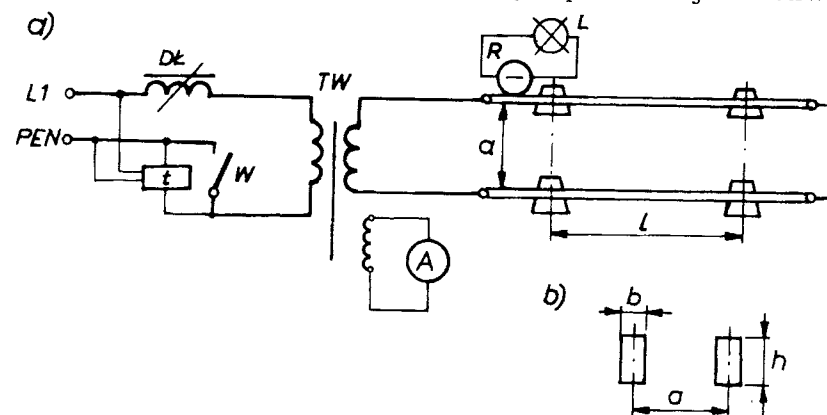
Dla aluminium twardego należy przyjąć $E = 0,68 \cdot 10^6 \text{ daN} \cdot \text{cm}^{-2}$. Moment bezwładności przewodnika o przekroju prostokątnym oblicza się według wzoru

$$J = \frac{h b^3}{12}, \quad (10.6)$$

w którym: h, b – wymiary przekroju poprzecznego toru prądowego [cm] (rys. 10.2b).

10.3. Program ćwiczenia

W ćwiczeniu należy ustalić (wzór 10.3) wartości prądu krótkotrwałego I_{th} dla czasów trwania zwarcia $T_k = 1, 3, 5, 10$ i 25 s w układzie modelowym szyn (rys. 10.2). Dla prądu obliczonego dla $T_k = 25$ s mierzyć co 5 s temperaturę szyn aż do momentu osiągnięcia przez nie temperatury dopuszczalnej krótkotrwałe.



Rys. 10.2. Układ pomiarowy do badania obciążalności roboczej i zwarciowej szyn (a) oraz parametry konstrukcyjne modelu szyn (b): TW – transformator wielkopiętrowy, L – logometr dwuuzwojeniowy, R – czujnik rezystancyjny, t – przełącznik czasowy, W – łącznik ręczny

Siłę oddziaływania elektromagnetycznego w układzie szyn wyznaczyć poprzez pomiar strzałki ugięcia i obliczenie według zależności (10.5).

Pomiary i obliczenia wykonać dla podanych przez prowadzącego wartości prądu w szynach zbiorczych. Uzyskane rezultaty porównać z wartościami obliczeń według zależności (10.4). Do wzoru należy wstawić największe chwilowe wartości prądu.

10.4. Opracowanie wyników badań

Pomierzone i obliczone wartości zestawić w tabelach. Sporządzić wykresy nagrzewania się i stygnięcia szyn oraz wykresy sił elektromagnetycznych w funkcji wartości prądów zwarciovych. Podać warunki doboru przekroju szyn zbiorczych. Przeprowadzić analizę doboru szyn, uwzględniając wartości dopuszczalnej jednosekundowej gęstości prądu.

Ćwiczenie 11

BADANIE NAGRZEWANIA SIĘ ELEMENTÓW APARATÓW ELEKTRYCZNYCH PRZY PRZEPIŹYWIE PRĄDU

11.1. Cel i zakres ćwiczenia

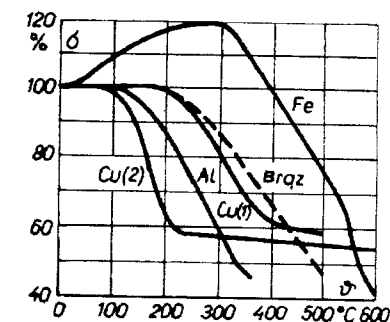
Celem ćwiczenia jest poznanie i praktyczne sprawdzenie przebiegów nagrzewania się elementów aparatów elektrycznych oraz wyznaczenie rozkładu ustalonych przyrostów temperatury w aparacie elektrycznym metodą pomiarową i pomiarowo-obliczeniową.

11.2. Wiadomości podstawowe

Najwyższą dopuszczalną temperaturę przewodów i aparatów elektroenergetycznych ogranicza się ze względu na ujemny wpływ wysokiej temperatury na:

- wytrzymałość mechaniczną elementów metalowych,
- rezystancję zestykową,
- własność izolacji,
- środowisko.

Zależność mechanicznej wytrzymałości niektórych metali od temperatury przedstawia rysunek 11.1. Nagrzewanie do temperatury wyższej od wartości charakterystycznej dla danego metalu powoduje dość znaczne zmniejszenie się wytrzymałości mechanicznej metalu. Może to być przyczyną uszkodzenia aparatów lub przewodów.



Rys. 11.1. Wpływ temperatury θ na wytrzymałość doraźną niektórych metali: Al – aluminium, Cu(1), Cu(2) – miedź przy nagrzaniu krótkotrwałym i długotrwałym, Fe – stal

Podwyższenie się temperatury powoduje zwiększenie rezystywności przewodnika oraz rezystancji zastawkowej na skutek szybszego utleniania się powierzchni metali.

Wpływ podwyższonej temperatury na izolację przejawia się w zmniejszeniu się trwałości i wytrzymałości elektrycznej na przebicie. Szkodliwość nadmiernego nagrzewania się izolacji jest w większości przypadków tym większa, im dłużej utrzymuje się podwyższona temperatura. Materiały izolacyjne podlegają procesowi starzenia, wskutek czego skraca się czas, w ciągu którego spełniają one wymagania stawiane dobrej izolacji.

Trwałość izolacji (w latach) w zależności od temperatury wyrazić można empiryczną zależnością:

$$z = a 2^{-\vartheta / \Delta \vartheta} \quad (11.1)$$

w której:

a – współczynnik stały dla danego rodzaju izolacji,

ϑ – temperatura [°C],

$\Delta \vartheta$ – przyrost lub spadek temperatury powodujący dwukrotne zmniejszenie lub wzrost trwałości izolacji [°C].

Wartość $\Delta \vartheta$ zawiera się w granicach od 5 do 15°C.

Próby nagrzewania prądem ciągłym polegają na sprawdzeniu czy w warunkach przepływu znamionowego prądu ciągłego przyrost temperatury poszczególnych elementów badanego aparatu nie przekracza wartości dopuszczalnych, określonych normami (tab. 11.1).

W próbach nagrzewania operuje się pojęciem przyrostów temperatury ponad temperaturę otoczenia, a nie jej bezwzględnymi wartościami. Konieczność ta wynika z tego, że próby mogą być wykonywane dla różnych wartości temperatury otoczenia, podczas gdy znamionowy prąd ciągły, jako cecha znamionowa aparatu, jest określony w warunkach znormalizowanej temperatury otoczenia (tab. 11.2).

Próby nagrzewania są wykonywane przeważnie w jednofazowych układach probierczych z zastosowaniem specjalnie do tego celu przeznaczonych transformatorów grzejnych. W trójfazowych układach probierczych bada się wyłącznie łączniki trójbiegunowe na bardzo duże prądy znamionowe ($I_{nt} > 400 \text{ A}$) oraz łączniki trójbiegunowe, w których w układzie probierczym jednofazowym powstają inne niż w układzie probierczym trójfazowym wartości strumienia magnetycznego w stalowych częściach łączników.

Tabela 11.1.

Dopuszczalne przyrosty temperatury części łączników niskonapięciowych

Lp.	Nazwa części	Przyrost temperatury [K]
1	Zaciski do przyłączenia zewnętrznych przewodów izolowanych	80
2	Manipulatory: • metalowe • niemetalowe	25 35
3	Części przeznaczone do dotykania, ale nie do chwytania ręką: • metalowe • niemetalowe	40 50
4	Części nie przeznaczone do dotykania podczas normalnej pracy: • metalowe • niemetalowe	50 60
5	Części zewnętrzne z powierzchnią wyłącznika stykającą się bezpośrednio z powierzchnią montażową włącznie	60

1. Nie ustala się żadnych wartości temperatury innych części, lecz nie powinny występować żadne uszkodzenia materiałów izolacyjnych przylegających do tych części.
2. Temperatura otoczenia nie powinna być wyższa niż 40°C a jej średnia wartość w ciągu 24 h nie powinna być wyższa od +35°C. Dolna granica temperatury otoczenia wynosi -5°C.

Tabela 11.2.

Obliczeniowe temperatury otoczenia

Lp.	Elementy urządzeń i warunki ich chłodzenia	Temperatura [°C]
1	Łączniki mechaniczne, jeżeli najwyższa średnia dobową temperatura otoczenia nie przekracza 35°C	+35
2	Przewody gołe zawieszone w otwartym obszarze w okresie: a) od kwietnia do października b) od listopada do marca	+30 +20
3	Przewody izolacyjne i kable ułożone w powietrzu w otwartym obszarze: a) w miejscach osłoniętych od bezpośredniego działania promieni słonecznych b) w miejscach nie osłoniętych od bezpośredniego działania promieni słonecznych	+25 +40
4	Kable ułożone w ziemi w okresie: a) od czerwca do września b) w kwietniu, maju, październiku, listopadzie c) od grudnia do marca	+25 +15 + 5
5	Szyny sztywne (gołe) w otwartym obszarze w miejscach nie osłoniętych od bezpośredniego działania promieni słonecznych	+35
6	Przewody różnego rodzaju (w tym szyny sztywne) w pomieszczeniach zamkniętych	+25 ¹⁾

¹⁾ lub najwyższa temperatura otoczenia występująca stale lub okresowo, jeżeli jest ona wyższa niż +25°C.

W pierwszym przypadku, w wyniku oddziaływania magnetycznego między biegunami łącznika, powstają różnice w rozkładzie gęstości prądu w poszczególnych torach prądowych, powodujące większe przyrosty temperatury niż podczas próby jednofazowej. Odwrotna sytuacja występuje w łącznikach ze zbiornikami z pokrywami, gdzie nagrzewanie pokrywy podczas próby jednofazowej jest większe niż podczas próby trójfazowej.

Podczas próby nagrzewania mierzy się przyrosty temperatury wszystkich tych elementów aparatu, w których przewiduje się występowanie najwyższej temperatury (będą to przeważnie zestyki). Do pomiaru temperatury stosuje się najczęściej termoelementy cienkodrutowe lub równorzędne mierniki temperatury umieszczone możliwie blisko dostępnych punktów o najwyższej przewidywanej temperaturze. Należy zapewnić dobrą przewodność cieplną między miernikiem temperatury a powierzchnią badanej części.

Próbę nagrzewania należy wykonać aż do ustalenia się temperatury poszczególnych elementów, przy czym temperaturę uważa się za ustaloną, jeżeli nie podwyższa się ona więcej niż o 1° w ciągu godziny. W praktyce ustalenie się temperatury występuje po czasie odpowiadającym około 5 stałym czasowym nagrzewania badanego aparatu. Wartości stałych czasowych różnych aparatów są różne, w rezultacie całkowity czas trwania próby nagrzewania może być w niektórych przypadkach bardzo długi. Skrócenie czasu trwania próby można uzyskać w dwojaki sposób:

- przepuszczając w pierwszym okresie nagrzewania prąd większy od prądu probierczego, a następnie – kiedy temperatura zacznie zbliżać się do wartości dopuszczalnych – zmniejszając prąd do wartości wymaganej,
- wyznaczając temperaturę ustaloną na podstawie próby częściowej, w tym przypadku z pomiarów wyznacza się przebieg części krzywej nagrzewania, a następnie wykreślnie wyznacza się temperaturę ustaloną.

Równanie krzywej nagrzewania ma postać:

$$\tau = \tau_u \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right] \quad (11.2)$$

gdzie:

τ_u – ustalony przyrost temperatury,

T – cieplna stała czasowa.

Po zrózniczkowaniu wyrażenia (11.2) względem czasu otrzymuje się

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_u}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \quad (11.3)$$

a ponieważ

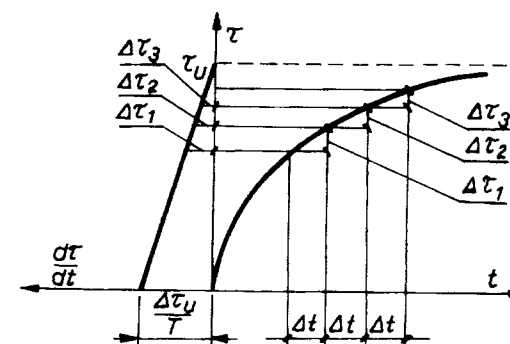
$$\exp\left(-\frac{t}{T}\right) = 1 - \frac{\tau}{\tau_u} \quad (11.4)$$

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_u - \tau}{T} \quad (11.5)$$

stąd

$$\tau = \tau_u - T \frac{d\tau}{dt} \quad (11.6)$$

Przyrost temperatury jest więc liniową funkcją względem $d\tau/dt$. Prosta ta na osi odciętych ($\tau = 0$) wyznacza odcinek τ_u/T , na osi rzędnych zaś ($d\tau/dt = 0$) odcinek τ_u , który jest szukanym przyrostem temperatury.



Rys. 11.2. Metoda wyznaczania ustalonego przyrostu temperatury na podstawie wyników próby częściowej

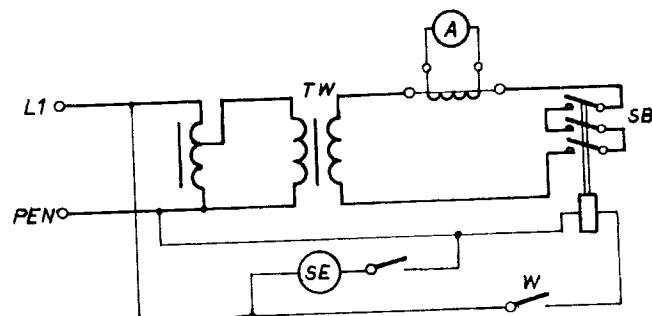
Mając wyznaczoną doświadczalnie część krzywej nagrzewania (rys. 11.2) należy poprowadzić w jednakowych odstępach czasu Δt kilka prostych równoległych do osi rzędnych i określić przyrosty temperatury $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \dots, \Delta\tau_n$. Dla dostatecznie małych Δt można przyjąć, że

$$\frac{d\tau_1}{dt} = \frac{\Delta\tau_1}{\Delta t}, \dots, \frac{d\tau_n}{dt} = \frac{\Delta\tau_n}{\Delta t} \quad (11.7)$$

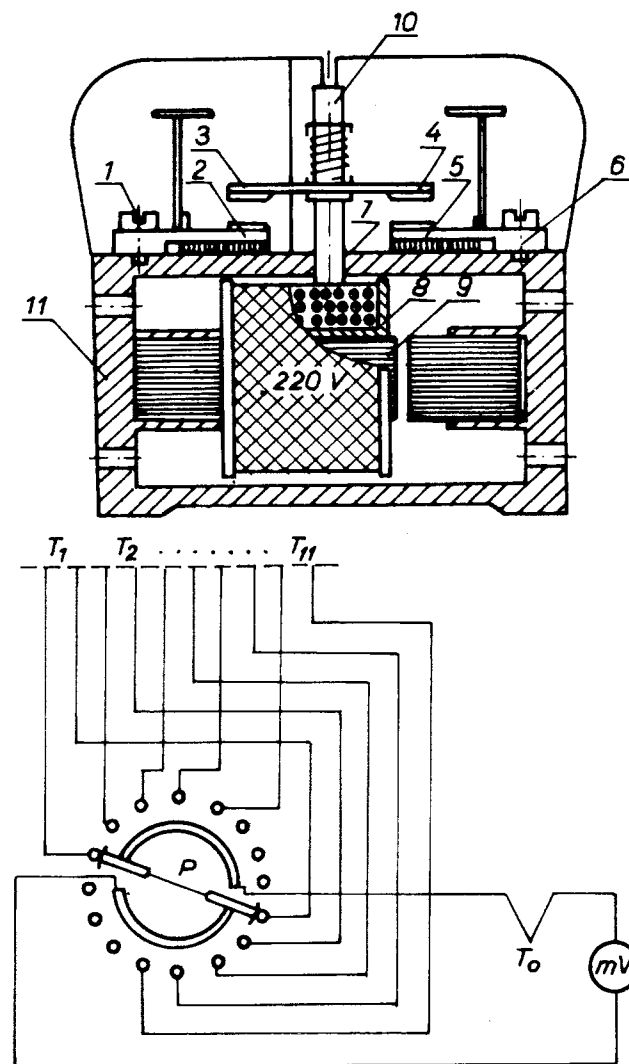
Ponieważ mianowniki prawych stron równań (11.7) są jednakowe, do wykreślenia odcinka prostej $\tau = f(\Delta\tau / \Delta t)$ wystarczy na lewo od osi rzędnych odłożyć bezpośrednio odcinki $\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \dots, \Delta\tau_n$ (rys. 11.2). Wykreślona w ten sposób prosta wyznacza na osi rzędnych wartość ustalonego przyrostu temperatury τ_u .

11.3. Program ćwiczenia

W czasie ćwiczenia należy wykonać badanie nagrzewania się stycznika elektromagnesowego prądu przemiennego niskiego napięcia. Próbę należy wykonać w układzie jednofazowym, stosując szeregowe połączenie wszystkich biegów stycznika (rys. 11.3). W celu wyeliminowania wpływu nagrzewania się przewodów łączeniowych na przebieg nagrzewania badanego łącznika połączenia w torze prądowym układu należy wykonać przewodami miedzianymi o przekroju wybranym z tabeli 11.3. Długość każdego odcinka przewodu przyłączeniowego mierzona między zaciskami, powinna wynosić co najmniej: 1 m dla $s \leq 10 \text{ mm}^2$, 2 m dla $10 \text{ mm}^2 < s \leq 120 \text{ mm}^2$ i 3 m dla $s > 120 \text{ mm}^2$.



Rys. 11.3. Układ pomiarowy do próby nagrzewania stycznika: SE – zegar elektryczny, W – wyłącznik cewki stycznika



Rys. 11.4. Układ do pomiaru przyrostów temperatury oraz rozmieszczenie termoelementów w styczniku: St-3z; $T_1 \div T_{11}$ – termoelementy pomiarowe; T_o – temperatura odniesienia, P – przełącznik termoelementów

Tabela 11.3.

Przekroje przewodów przyłączeniowych miedzianych w badaniach nagrzewania łączników

Prąd probierczy I_p [A]	Przekrój przewodów przyłączeniowych s [mm ²]	Prąd probierczy I_p [A]	Przekrój przewodów przyłączeniowych s [mm ²]
0 ÷ 8	1,0	65 ÷ 85	25
8 ÷ 12	1,5	85 ÷ 115	35
12 ÷ 20	2,5	115 ÷ 150	50
20 ÷ 25	4,0	150 ÷ 175	70
25 ÷ 32	6,0	175 ÷ 225	95
32 ÷ 50	10	225 ÷ 250	120
50 ÷ 65	16	250 ÷ 275	150
		275 ÷ 350	185
		350 ÷ 400	240

Podczas próby należy mierzyć, za pomocą termoelementów wartości przyrostów temperatury różnych części badanego stycznika (rys. 11.4). Temperaturę należy mierzyć w jednakowych odstępach czasu: na początku próby częściej, w końcowej fazie rzadziej, aż do czasu ustalenia się temperatury. Podczas badań należy kontrolować stałość wartości prądu przepływającego przez badany łącznik.

11.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki pomiarów zestawić w tabeli. Na podstawie uzyskanych rezultatów należy:

- 1) wykreślić zależności $\tau = f(t)$ dla wszystkich punktów pomiarowych temperatury. Na podstawie wartości dopuszczalnych przyrostów temperatury (tab. 11.1) ocenić wynik próby nagrzewania stycznika;
- 2) wyznaczyć ustalone przyrosty temperatury dla poszczególnych punktów pomiarowych na podstawie próby częściowej, wykorzystując pomiary do chwili $t = 5$ min. Otrzymane wartości ustalonych przyrostów temperatury porównać z wartościami pomierzonymi.

Ćwiczenie 12

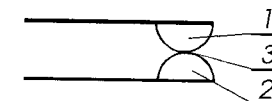
BADANIE REZYSTANCJI ZESTYKOWEJ

12.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przedstawienie zależności rezystancji zestykowej od różnych czynników oraz ustalenie wartości tej rezystancji w torach głównych wybranych łączników.

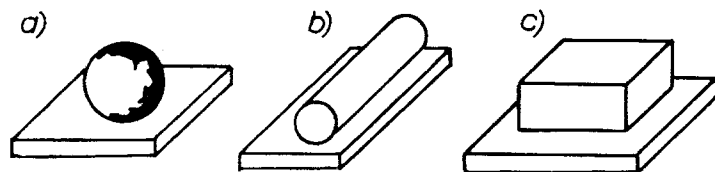
12.2. Wiadomości podstawowe

Aby stworzyć drogę dla przepływu prądu w jakimś obwodzie, należy zamknąć go przez zetknięcie końców przewodników w miejscu istniejącej przerwy. Te części obwodu, które dzięki wzajemnej styczności umożliwiają przepływ prądu nazywamy **stykami**, zespół zaś współpracujących ze sobą styków – **zestykiem** (rys. 12.1). Zestyki dzielimy na punktowe, liniowe i powierzchniowe, najczęściej płaskie (rys. 12.2). Podstawą tego podziału jest teoretyczny kształt powierzchni styczności. W rzeczywistości jednak styczność dwu ciał nigdy nie następuje w punkcie, wzdłuż linii lub według jednolitej wielkiej powierzchni pojętych geometrycznie. Dlatego też w rzeczywistości: zestyk punktowy jest to zestyk, w którym styczność elektryczna odbywa się na powierzchni o bardzo małym promieniu; **zestyk liniowy** jest to zestyk, w którym styczność rzeczywista odbywa się na kilku małych powierzchniach ułożonych w przybliżeniu wzdłuż pewnej linii prostej; **zestyk powierzchniowy** jest to zestyk, w którym styczność pozorna następuje na powierzchni wynikającej z geometrycznych wymiarów styków,



Rys. 12.1. Zestyk: 1,2–styki, 1+1–zestyk, 3–miejsce styczności

a styczność rzeczywista na wielu małych powierzchniach dowolnie usytuowany w obrębie pozornej powierzchni styczności.



Rys. 12.2. Rodzaje zestyków: a) punktowy, b) liniowy, c) powierzchniowy

Rezystancję zestykową można wyrazić wzorem

$$R_z = R_p + R_w \quad (12.1)$$

gdzie:

R_z – rezystancja zestykowa,

R_p – rezystancja dodatkowa spowodowana zagęszczeniem strug prądu w stykających się przewodach, rezystancja przewężenia,

R_w – rezystancja warstwy gazów adsorbowanych pokrywającej stykającą się powierzchnię, grubości 10–20 nm, oraz warstwy nalotowej grubości maksymalnej kilkudziesięciu nanometrów, zwykle tlenków metali o właściwościach izolacyjnych.

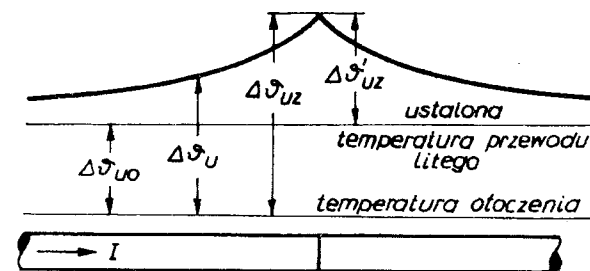
Warstwą adsorbcyjną nazywa się cienką warstwę grubości równej co najmniej średnicy cząsteczki gazu, w którym znajduje się zestyk. Obliczeń rezystancji wymieniowych warstw w praktyce się nie wykonuje ze względu na znaczne trudności metrologiczne związane z wyznaczeniem ich grubości; wpływ zaś ich na rezystancję zestykową jest bardzo duży. Utlenianie się styków może powodować wielokrotne powiększanie się rezystancji zestykowej. Jest to spowodowane bardzo dużą rezystywnością tlenków metali przewodowych (tab. 12.1).

Tabela 12.

Rezystywność niektórych metali przewodowych i tlenków

Nazwa materiału	Temperatura [°C]	Rezystywność	
		$\Omega \cdot \text{cm}$	względna
miedź	20	$1,68 \cdot 10^{-6}$	1
dwutlenek miedzi (Cu_2O)	20	$10^8 \div 10^9$	$6 \cdot 10^{13} \div 6 \cdot 10^{14}$
tlenek miedzi (CuO)	100	$5,6 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^9$
aluminium	20	$2,62 \cdot 10^{-6}$	1
trójtlenek aluminium (Al_2O_3)	300	$1,2 \cdot 10^{13}$	$4,6 \cdot 10^{18}$

W rezystancji zestykowej powstają dodatkowe straty na ciepło Joule'a, toteż pręt przecięty nagrzewa się do wyższej temperatury niż pręt jednolity (rys. 12.3).



Rys. 12.3. Rozkład temperatury w pobliżu miejsca styczności (w stanie ustalonym): $\Delta\vartheta_{uo}$ – przyrost temperatury przewodu litego ponad temperaturę otoczenia, $\Delta\vartheta_u$ – przyrost temperatury przewodu ze stykiem ponad temperaturę otoczenia, $\Delta\vartheta_{uz}$ – przyrost temperatury zestyku ponad temperaturę otoczenia, $\Delta\vartheta'_{uz}$ – przyrost temperatury zestyku ponad temperaturę przewodu litego

Płaszczyzny styków nie przylegają do siebie dokładnie (rys. 12.4a). Rzeczywiste zetknięcie nie występuje w punktach pojętych geometrycznie, lecz na pewnych niewielkich powierzchniach. Jak wynika z rysunku 12.4b prąd w miejscu zetknięcia się styków przepływa przez niewielkie powierzchnie rzeczywistej styczności. Powoduje to zagęszczenie strug prądu w pobliżu tych powierzchni, co jest przyczyną wystąpienia rezystancji przewężenia.

Rezystancję zestykową wyznacza się z empirycznego wzoru

$$R_z = \frac{c}{(0,1 F)^n} \quad (12.2)$$

w którym:

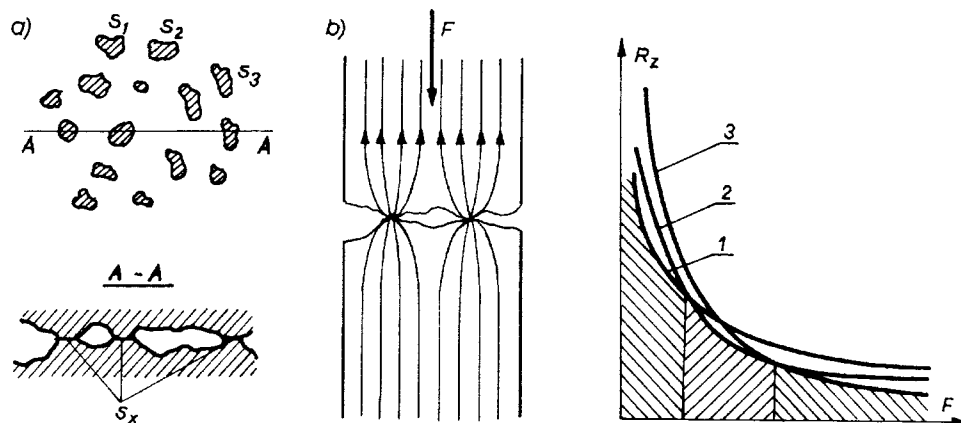
c – stała zależna od własności materiału styków, stanu ich powierzchni itp. (tab. 12.2) [$\text{m}\Omega \cdot \text{N}^n$],

F – siła docisku zestykowego [N],

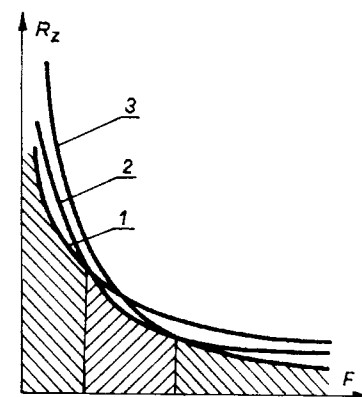
n – wykładnik potęgowy, zależny od rodzaju zestyku; dla zestyków powierzchniowych $n = 1,0$; punktowych $n = 0,5$; liniowych $n = 0,7$.

Ze względu na przebieg zależności R_z od siły docisku można zalecić (rys. 12.5):

- w zakresie małych sił dociskowych – zestyki punktowe,
- w zakresie średnich wartości sił – zestyki liniowe,
- w zakresie bardzo dużych docisków – zestyki powierzchniowe.



Rys. 12.4. Przepływ prądu przez zestyk: a) obraz zetknięcia się dwóch powierzchni stykowych (wielokrotnie powiększony), b) przewężenie strug prądu, S_x – rzeczywiste elementarne powierzchnie styczności



Rys. 12.5. Zależność rezystancji ze stykowej od siły docisku zestyków 1–zestyki punktowe, 2–zestyki liniowe, 3–zestyki powierzchniowe

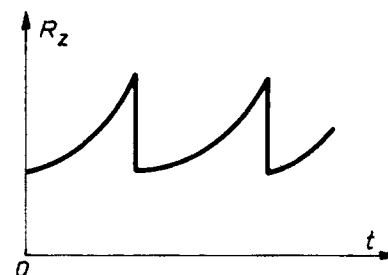
Tabela 12.2.

Wartości stałej c we wzorze (12.2)

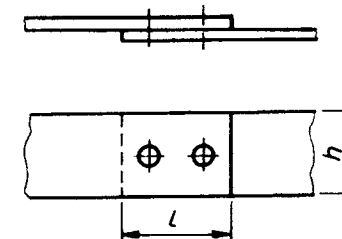
Materiał styków	$[m\Omega \cdot N^n]$
miedź – miedź	0,08 – 0,23
miedź cynkowa – miedź cynkowa	0,10
miedź – miedź cynkowa	0,07 – 0,10
srebro – srebro	0,06
mosiądz – mosiądz	0,67
mosiądz – miedź	0,38
stal – stal	7,6
stal – mosiądz	3,04
stal – miedź	3,1
aluminium – aluminium	3 – 6,7
aluminium – mosiądz	1,9
aluminium – stal	4,4

Zestyki punktowe i liniowe są zwykle zestykami nierozłącznymi ruchomymi lub rozłącznymi, natomiast zestyki powierzchniowe są zestykami nierozłącznymi nieruchomymi.

Rezystancja zestykowa nie ma stałej wartości w czasie ze względu na utlenianie się powierzchni styków i grubienie warstwy nalotowej. Proces ten jest dodatkowo przyspieszony podwyższoną z reguły temperaturą zestyków. Jednocześnie wzrasta jednak natężenie pola elektrycznego w warstwie nalotowej i temperatura zestyku, co prowadzi do przebicia warstwy nalotowej. Rezystancja zestykowa maleje wówczas gwałtownie do wartości początkowej (rys. 12.6). Proces ten może się powtarzać wielokrotnie. Jeżeli grubość warstwy nalotowej będzie duża i nie nastąpi jej zniszczenie, to temperatura zestyku może podwyższyć się nadmiernie.



Rys. 12.6. Zależność rezystancji zestykowej R_z od czasu



Rys. 12.7. Zestyk nierozłączny przewodu szynowego: l – długość zakładki, $S = hl$ – pozorna powierzchnia styczności

Połączenia szynowe płaskowników powinny być tak wymiarowane, żeby rezystancja całkowita połączonych przewodów wraz z rezystancją zestykową nie przekraczała rezystancji przewodu, którego długość odpowiada długości zestyku (rys. 12.7). Powierzchnię zestyku zakładki płaskowników oblicza się z zależności

$$s = \frac{I}{j_{dop}} \quad (12.3)$$

w której:

I – prąd przepływający przez zestyk [A],

j_{dop} – dopuszczalna pozorna gęstość prądu zestyku. Dla przewodów miedzianych

$$j_{dop} = 0,31 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2} \text{ dla } I \leq 200 \text{ A},$$

$$j_{dop} = [0,31 + 1,05 (I - 200) \cdot 10^{-4}] \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2} \text{ dla } 200 \text{ A} < I \leq 2000 \text{ A},$$

$$j_{dop} = 0,12 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2} \text{ dla } I > 2000 \text{ A}.$$

Dla materiałów przewodowych innych niż miedź dopuszczalne gęstości pozorne wynoszą

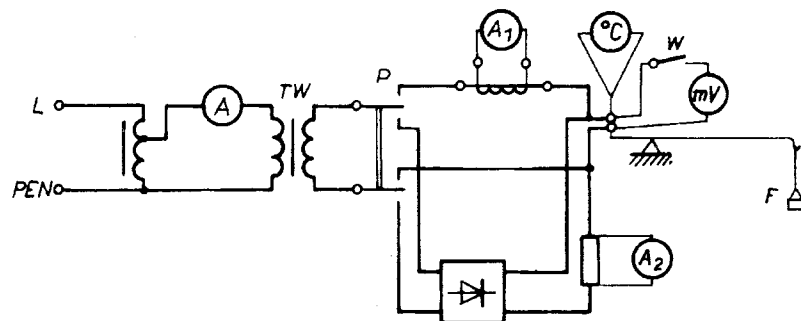
$$j_{dop\ x} = j_{dop} \sqrt{\frac{\rho_{Cu}}{\rho_x}} \quad (12.4)$$

gdzie: ρ_{Cu}, ρ_x – rezystywność miedzi i dowolnego metalu.

W połączeniach nierozłącznych szyn stosuje się dociski $200 \div 400 \text{ daN} \cdot \text{cm}^2$ dla miedzi oraz do $50 \text{ daN} \cdot \text{cm}^2$ dla aluminium.

12.3. Program ćwiczenia

Badania (przy przepływie prądu stałego i przemiennego) należy wykonać w układzie przedstawionym na rysunku 12.8. Przed pomiarem powierzchnie stykowe należy starannie oczyścić drobnoziarnistym papierem ściernym.



Rys. 12.8. Układ połączeń stanowiska do badań rezystancji zestykowej w funkcji siły docisku zestyków

Ćwiczenie obejmuje:

1. Pomiar rezystancji zestykowej dla różnych sił docisku zestyków rozłącznych. Siłę dociskową powiększać co 0,2 do 20 daN a następnie zmniejszać do 0,2 daN.

Pomiary należy wykonać dla prądu o wartości 12 A. Rezystancja zestykowa

$$R_z = \frac{\Delta U}{I} \quad (12.5)$$

gdzie:

ΔU – spadek napięcia na rezystancji zestykowej [V],

I – prąd przepływający przez zestyki w chwili pomiaru [A].

2. Pomiar rezystancji zestykowej przy stałej sile docisku i różnych prądach obciążenia. Należy wykonać pomiary rezystancji zestyków dociskanych z siłą 20 daN podczas zwiększania a następnie zmniejszania natężenia prądu w granicach $5 \div 80 \text{ A}$.
3. Pomiar temperatury zestyków dla różnych sił docisku zestykowego. Zmierzyć temperaturę zestyków obciążonych prądem 30 A (w ciągu 5 min) przy sile dociskowej 5 daN i 20 daN.
4. Badanie rezystancji zestykowej wybranych łączników.

Wyznaczyć rezystancję zestykową oraz rezystancję całego toru bieguna podanych łączników niskiego napięcia. Pomiaru należy dokonać dla prądu o wartości równej znamionowemu prądowi ciągłemu łącznika.

12.4. Opracowanie wyników badań

W protokole należy umieścić następujące materiały:

- 1) wyniki badań zestawione w tabelach,
- 2) zależność rezystancji zestykowej w funkcji siły docisku dla siły rosnącej i malejącej oraz obliczonej według wzoru (12.2),
- 3) dla każdej zmierzonej wartości rezystancji zestykowej należy obliczyć na podstawie wzoru (12.2) wartość stałej c i porównać jej wartość średnią z wartościami zestawionymi w tabeli 12.2,
- 4) zależność rezystancji zestykowej w funkcji prądu obciążenia przy stałej sile docisku,
- 5) zależność temperatury zestyku w funkcji czasu dla stałej wartości prądu obciążenia i siły dociskowej,
- 6) ustalić czy można, z dostateczną dla praktyki dokładnością, wyznaczyć rezystancję zestykową mierząc spadek napięcia na całym biegunie łącznika a nie na zestyku, co jest zwykle technicznie utrudnione,
- 7) ustalić czy rodzaj prądu i jego wartość ma wpływ na wynik pomiarów.

Ćwiczenie 13

STEROWANIE SILNIKÓW INDUKCYJNYCH STYCZNIKAMI

13.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową i działaniem styczników, prostymi układami sterowania silników stycznikami oraz zasadami rysowania i odczytywania schematów elektrycznych tych układów. W ćwiczeniu należy zmontować i uruchomić wybrane układy sterowania.

13.2. Wiadomości podstawowe

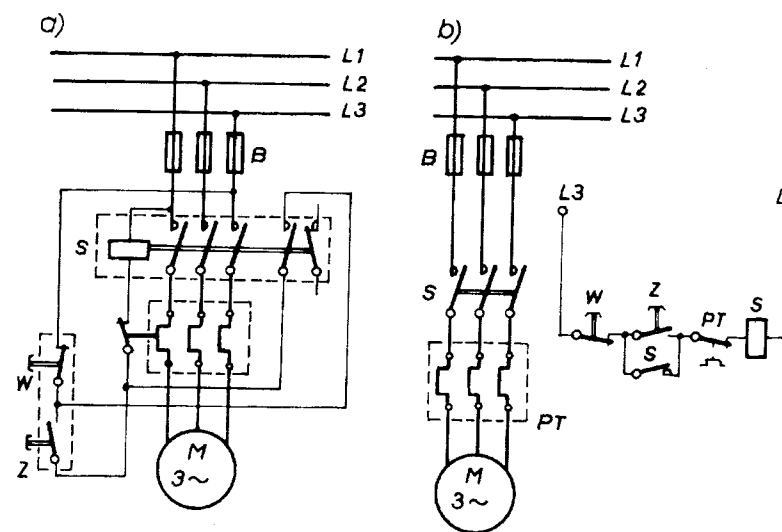
Sterowaniem nazywa się działanie wywołujące określone zmiany w pracy odbiornika: załączanie, wyłączanie, regulację prędkości obrotowej itd. Sterowanie może być ręczne lub samoczynne. **Sterowanie ręczne** polega na bezpośrednim lub pośrednim (zdalnym) oddziaływaniu obsługi na urządzenia kierujące pracą odbiornika. **Sterowanie samoczynne** polega na uzależnieniu działania urządzeń sterujących od zmian określonych wielkości fizycznych: czasu, temperatury, ciśnienia, napięcia itd. Układy połączeń obwodów głównych i pomocniczych urządzeń elektrycznych przedstawiają schematy ideowe szczegółowe, wykonywane w postaci skupionej lub rozwiniętej. Schematy w postaci skupionej nadają się szczególnie do przedstawienia obwodów głównych oraz obwodów pomocniczych. Elementy urządzeń są w tych schematach umiejscowione topograficznie (rys. 13.1a). Schematy ideowe rozwinięte są powszechnie stosowane w bardziej złożonych układach przekaźnikowo-sterowniczych. W schematach tych obwody główne są rysowane w postaci skupionej; w postaci rozwiniętej rysuje się obwody sterownicze, zabezpieczeniowe, sygnalizacyjne. W schematach rozwiniętych poszczególne aparaty oraz przyrządy są rysowane za pomocą symboli ich części składowych

(cewek, styków, uzwojeń itd.). Symbole te nie są umieszczone topograficznie. Układa się je w linii prostej, pionowej lub poziomej według kolejności występowania w danym obwodzie i łączy się je między sobą. Zastosowanie schematów ideowych rozwiniętych w znacznym stopniu ułatwia:

- projektowanie skomplikowanych układów sterowniczych,
- zrozumienie ich działania,
- montaż i sprawdzenie.

13.3. Proste układy sterowania odbiorników stycznikami

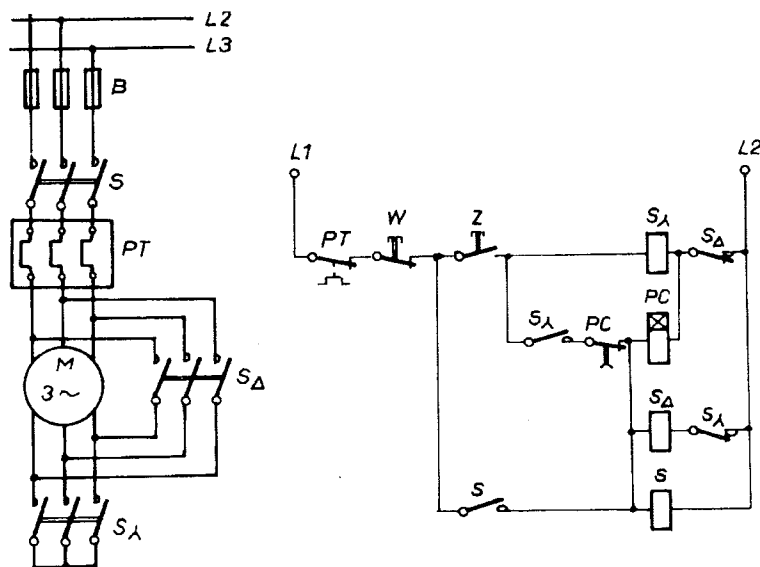
Na rysunku 13.1 przedstawiono schemat układu sterowania ręcznego pośredniego (zdalnego) silnika stycznikiem elektromagnesowym.



Rys. 13.1. Schemat sterowania silnika stycznikiem elektromagnesowym: a) w postaci skupionej, b) w postaci rozwiniętej, S – stycznik, PT – przekaźnik termobimetalowy

Uruchomienie lub zatrzymanie silnika w tym układzie realizuje się przez przyciśnięcie przycisku Z (załączone) lub W (wyłączone). Załączenie stycznika powoduje elektromagnes sterujący. Styki przycisków Z i W po zwolnieniu nacisku wracają do położenia wyjściowych. W chwili przyciśnięcia przycisku Z napięcie na elektromagnes napędowy zostaje podane z fazy L3 przez przyciski W i Z, styk

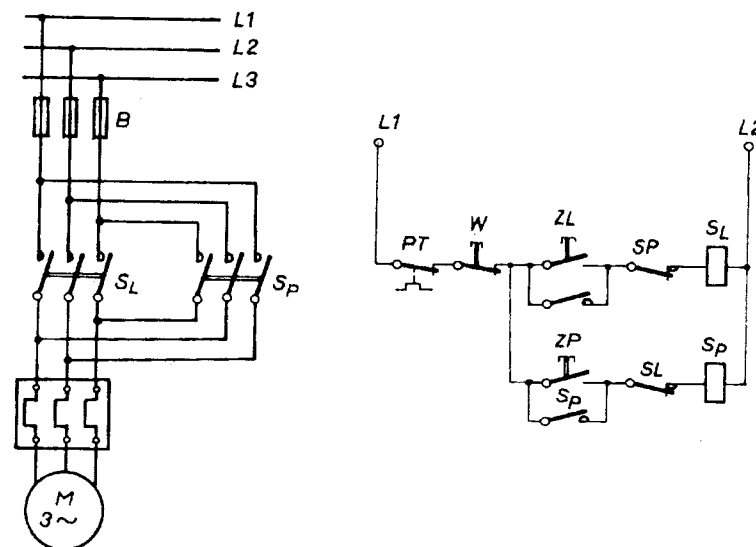
przełącznika termobimetalowego PT i cewkę do fazy $L1$. Stycznik zostaje zamknięty i napięcie na cewce podtrzymane jest poprzez zestyk pomocniczy (połączony równolegle z przyciskiem Z). Wyłączenia stycznika dokonać można przez wciśnięcie przycisku W lub w przypadku zadziałania przełącznika termobimetalowego przez rozwarcie się jego styku.



Rys. 13.2. Schemat (rozwinięty) sterowania silnika stycznikowym przełącznikiem gwiazda-trójkąt

Na rysunku 13.2 przedstawiono schemat układu sterowania silnika stycznikowym przełącznikiem gwiazda-trójkąt. Uruchomienie odbywa się w następującej kolejności. Po naciśnięciu przycisku Z zostaje podane napięcie międzyfazowe na cewkę stycznika S_L w obwodzie: faza $L1$, zestyk przełącznika termobimetalowego PT , zestyk W , zestyk Z (chwilowo zamknięty), cewka stycznika S_L , zestyk pomocniczy stycznika $S_Δ$, faza $L2$. Powoduje to zamknięcie styczników S_L i S wraz z ich zestykami pomocniczymi. Zwolnienie przycisku Z nie powoduje otwarcia się stycznika S_L , gdyż napięcie jest wówczas podawane w obwodzie faza $L1$, zestyk przełącznika PT , zestyk W , zestyk pomocniczy S , zestyk PC , zestyk pomocniczy S_L , cewka S_L , zestyk pomocniczy $S_Δ$, faza $L2$. Stycznik $S_Δ$ nie zostaje zamknięty, ponieważ zestyk S_L w jego obwodzie jest otwarty. Jednocześnie następuje uruchomienie przełącznika czasowego PC . Po upływie określonego

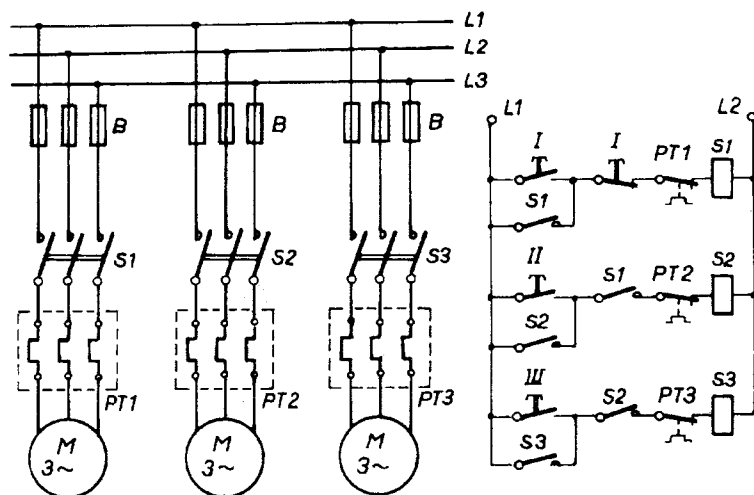
czasu zostaje otwarty zestyk PC . Powoduje to przerwanie obwodu cewki stycznika S_L i jednocześnie zmianę położenia (zamknięcie) zestyku pomocniczego S_L w obwodzie stycznika $S_Δ$. Zamknięcie stycznika $S_Δ$ powoduje jednocześnie otwarcie jego zestyku pomocniczego $S_Δ$. Silnik pracuje z uzwojeniami połączonymi w trójkąt. Wyłączenie silnika może nastąpić po naciśnięciu przycisku W lub po zadziałaniu przełącznika termobimetalowego PT .



Rys. 13.3. Schemat (rozwinięty) sterowania silnika stycznikowym przełącznikiem kierunku wirowania

Na rysunku 13.3 przedstawiono schemat układu sterowania silnika stycznikowym przełącznikiem kierunku wirowania. Po naciśnięciu przycisku ZL zostaje załączony stycznik S_L i jego zestyk pomocniczy (lewy kierunek wirowania). Nie jest możliwe włączenie układu przeciwnego kierunku wirowania, ponieważ zestyk S_L będący w obwodzie stycznika S_P jest otwarty. Uruchomienie silnika w kierunku przeciwnym jest możliwe po jego wyłączeniu przyciskiem W i załączeniu przycisku ZP . Kolejność załączania przycisków ZL i ZP uwarunkowana jest potrzebami ruchowymi.

Na rysunku 13.4 przedstawiono schemat rozwinięty sterowania stycznikami układu kaskadowego silników. Przyciskiem *I* załącza się stycznik *S1* przez podanie napięcia na cewkę sterującą. Jeden z zestyków pomocniczych *S1* załącza się w obwodzie stycznika *S2* – dając przyzwolenie na załączenie *S2*. Po załączeniu *S2* – istnieje dopiero możliwość załączenia *S3*. Nie ma możliwości załączenia *S2* bez załączenia *S1*. Podobnie nie ma możliwości załączenia *S3* bez uprzedniego załączenia *S2*.



Rys. 13.4. Schemat (rozwinięty) sterowania silnika w układzie kaskadowym

13.4. Program ćwiczenia

Podczas ćwiczenia należy:

- 1) zapoznać się z budową i działaniem znajdujących się na stanowisku laboratoryjnym łączników stycznikowych oraz przekaźników termobimetalowych,
- 2) zmontować i uruchomić układy sterownicze o programie pracy zadanym przez prowadzącego ćwiczenia.

Ćwiczenie 14

BADANIE NIEKTÓRYCH PARAMETRÓW PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH I NAPIĘCIOWYCH

14.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową, zasadą działania i własnościami eksploatacyjnymi przekładników prądowych i napięciowych.

14.2. Wiadomości podstawowe

Przekładnikami indukcyjnymi nazywa się transformatory służące do celów pomiarowych. Główne zadania przekładników to: odizolowanie galwaniczne obwodów pomiarowych od obwodów pierwotnych, będących bardzo często obwodami wysokiego napięcia, oraz przetworzenie wielkości pierwotnych na ujednolicone wielkości wtórne. Ujednolicenie wielkości wtórnych umożliwia normalizację przyrządów pomiarowych, urządzeń zabezpieczających i sterujących oraz tworzenie układów zasilanych sygnałami z różnych punktów systemów elektroenergetycznych.

Przekładniki prądowe składają się z rdzenia, wykonanego z blach transformatorowych lub specjalnych stopów żelazoniklowych o dużej przenikalności magnetycznej początkowej i maksymalnej oraz uzwojeń pierwotnego i wtórnego (rys. 14.1a).

Stosunek znamionowego prądu pierwotnego (I_{1n}) do wtórnego (I_{2n}) nazywamy **przekładnią przekładnika**

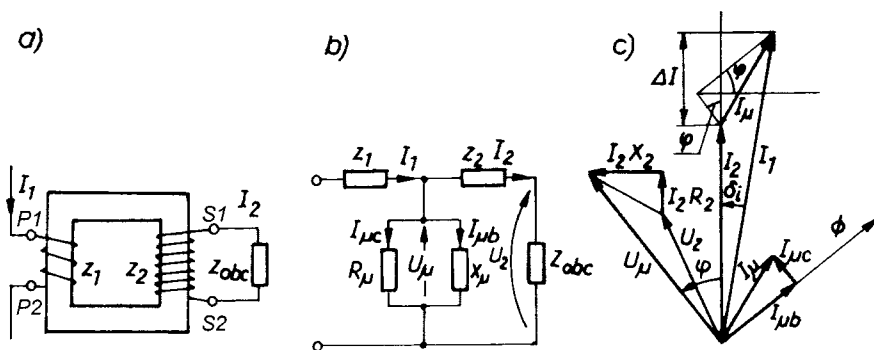
$$\vartheta_i = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \approx \frac{z_2}{z_1} \quad (14.1)$$

przy czym: z_1, z_2 – liczba zwojów uzwojeń pierwotnego i wtórnego.

Znając przekładnię oraz wartość prądu wtórnego można obliczyć wartość prądu pierwotnego

$$I_1 = I_2 \vartheta_i. \quad (14.2)$$

Schemat zastępczy przekładnika, w którym parametry strony pierwotnej (napięcie, prąd, impedancja) zostały „sprowadzone” do obwodu wtórnego przedstawiono na rysunku 14.1b. W warunkach pracy normalnej, gdy przekładnik pracuje na prostoliniowej części charakterystyki magnesowania, prąd w gałęzi magnesowania I_μ , zawierający składową bierną ($I_{\mu b}$) wytwarzającą strumień roboczy i składową czynną ($I_{\mu c}$) potrzebną do pokrycia strat w rdzeniu, można przyjąć jako sinusoidalny. Pozwala to na konstrukcję wykresu wskazowego (rys. 14.1c) obrazującego wzajemne zależności między prądami i napięciami przekładnika.



Rys. 14.1. Przekładnik prądowy: a) zasada działania, b) schemat zastępczy, c) wykres wskazowy, z_1, z_2 – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego, Z_{obc} – impedancja obciążenia przekładnika, Z_1, Z_2 – impedancja uzwojeń strony pierwotnej i wtórnej przekładnika

Charakterystycznymi cechami **przekładników prądowych** są: błąd prądowy (ΔI) i kątowy (δ_i). Błąd prądowy oblicza się według zależności

$$\Delta I_{\%} = \frac{I_2 \vartheta_i - I_1}{I_1} 100. \quad (14.3)$$

Błąd kątowy, wyrażony w minutach, jest to kąt między wskazem prądu wtórnego a wskazem prądu pierwotnego. Dodatni znak błędu oznacza, że wskaz prądu wtórnego wyprzedza wskaz prądu pierwotnego.

Zgodnie z wykresem z rysunku 14.1c błąd prądowy i kątowy są określone zależnościami

$$\Delta I_{\%} = - \frac{I_{\mu b} \sin \varphi + I_{\mu c} \cos \varphi}{I_1} 100, \quad (14.4)$$

$$\delta_i = \arctg \frac{I_{\mu b} \cos \varphi - I_{\mu c} \sin \varphi}{I_1}, \quad (14.5)$$

w których

$$\varphi = \arctg \frac{X_{wt}}{R_{wt}},$$

$$R_{wt} = R_{obc} + R_2,$$

$$X_{wt} = X_{obc} + X_2,$$

przy czym:

R_{obc}, X_{obc} – rezystancja i reaktancja obciążenia przekładnika,

R_2, X_2 – rezystancja i reaktancja uzwojeń strony wtórnej przekładnika.

Błąd prądowy i kątowy nie mają wartości stałej, lecz zależą od prądu pierwotnego, obciążenia przekładnika i współczynnika mocy jego obwodu wtórnego nie mającego związku ze współczynnikiem mocy sieci, do której przekładnik jest włączony.

Błąd prądowy zależy od wielu czynników, jednak możliwości jego zmniejszenia są bardzo ograniczone. Praktycznie ograniczenie wartości błędu jest możliwe przez zmniejszenie wartości impedancji obciążenia Z_{wt} oraz powiększenie przenikalności magnetycznej μ rdzenia. W rozwiązaniach praktycznych stosuje się podmagnesowanie rdzenia w celu przesunięcia punktu pracy przekładnika na charakterystyce magnesowania do zakresu większych wartości przenikalności.

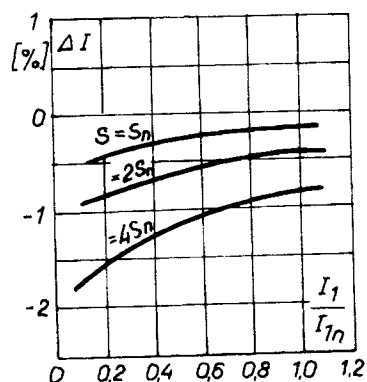
W nowoczesnych konstrukcjach przekładników do podmagnesowania wyzyskuje się prądy wtórne przekładników. Skuteczność takiego rozwiązania zależy od wartości prądu wtórnego.

Obciążenie i dokładność transformacji są ze sobą ściśle związane.

Moc znamionowa przekładnika jest to wartość mocy pozornej (w woltoamperach przy określonym współczynniku mocy), którą przekładnik jest zdolny zasiląć obwód wtórny przy znamionowym prądzie wtórnym i znamionowym obciążeniu.

Obciążenie jest to impedancja obwodu wtórnego wyrażona w omach przy określonym współczynniku mocy. Obciążenie jest zwykle wyrażone jako moc pozorna w woltoamperach, pobierana przy określonym współczynniku mocy i przy znamionowym prądzie wtórnym. Moc znamionowa odpowiada jednej z wartości następującego szeregu: 2,5; 5; 10; 15 i 30 VA, a jako znamionowy współczynnik mocy obciążenia ($\cos \varphi$) przyjmuje się wartość 0,8 (ind.). Moc przekładnika prądowego, przez którego uzwojenie pierwotne przepływa prąd I_1 , mniejszy od znamionowego I_{1n} , wynosi

$$S = S_n \left(\frac{I_1}{I_{1n}} \right)^2 \quad (14.6)$$



Rys. 14.2. Zależność błędów prądowych przekładnika klasy 0,2 od obciążenia obwodu wtórnego

W zakresie dokładności przekładniki dzieli się na pomiarowe i zabezpieczeniowe. W przekładnikach prądowych pomiarowych klasa dokładności jest oznaczona przez największy dopuszczalny procentowy błąd prądowy przy prądzie znamionowym. Znormalizowanymi klasami dokładności przekładników prądowych do pomiarów są: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5. Błędy przekładników pomiarowych są sprawdzane w zakresie 25% do 100% obciążenia znamionowego dla przekładników klasy 0,1; 0,2; 0,5; 1. Przekładniki klasy 3 i 5 sprawdzane są przy obciążeniu wtórnym od 50% do 100% obciążenia znamionowego. Przekładnik obciążony mocą więk-

szą od znamionowej transformuje mniej dokładnie, wskutek czego staje się przekładnikiem niższej klasy (rys.14.2).

Przy zwarciach w sieci wartość prądu w uzwojeniu pierwotnym przekładnika jest wielokrotnie większa od znamionowego. Powoduje to silne nasycenie się rdzenia i znaczny wzrost błędu transformacji. Granica gwarantowanej transformacji jest

określona na poziomie 120% wartości prądu znamionowego. Nie wymaga się, aby przekładniki prądowe przeznaczone do pomiarów utrzymywały poprawną transformację powyżej granicy $1,2I_{1n}$. Przeciwnie, przy stosunkowo niewielkich przeciężeniach przekładnik powinien wchodzić w obszar nasycenia rdzenia, czyli błąd całkowity winien wzrastać, ograniczając wartość prądu wtórnego. Ma to na celu ochronę przyrządów przyłączonych do zacisków wtórnych przed bardzo wielkimi udarami prądowymi. Powinna być zatem zachowana korelacja właściwości zasilanych przyrządów i przekładników określonym znamionowym współczynnikiem bezpieczeństwa przyrządu FS równym stosunkowi znamionowego prądu pierwotnego bezpiecznego dla przyrządu (I_{1B}) do znamionowego prądu pierwotnego przekładnika (I_{1n}). Należy zwrócić uwagę, że w przypadku przepływu przez uzwojenie pierwotne przekładnika prądu zwarciego sieci, bezpieczeństwo przyrządu zasilanego przez ten przekładnik jest tym większe, im wartość współczynnika bezpieczeństwa przyrządu (FS) jest mniejsza.

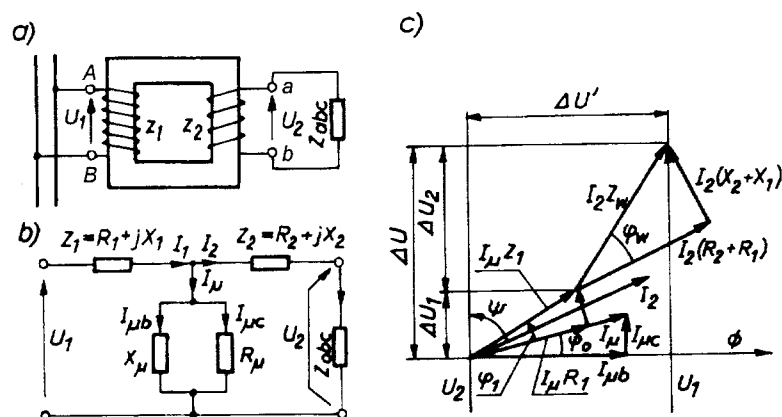
W przypadku przekładników przeznaczonych do współpracy z zabezpieczeniami wymaga się, aby zabezpieczenia te pracowały prawidłowo przy zwarciach, a więc poprawna powinna być transformacja prądów wielokrotnie większych od prądu znamionowego. Zakres prądu pierwotnego, przy którym transformację można za taką uważać, wyznacza znamionowy graniczny prąd pierwotny (I_{1G}). Jest to największa wartość skuteczna prądu pierwotnego, przy którym błąd całkowity przekładnika obciążonego znamionowo osiąga wartość określoną w normie dla przekładników danej klasy.

Prądowi temu odpowiada współczynnik graniczny dokładności (KG), określony jako stosunek granicznego prądu pierwotnego do znamionowego prądu pierwotnego. Wśród przekładników zabezpieczeniowych wyróżnia się dwie klasy dokładności oznaczone 5 P oraz 10 P. Współczynniki graniczne dokładności tych przekładników powinny odpowiadać znormalizowanemu szeregowi 5; 10; 15; 20; 30.

Strumień magnetyczny w rdzeniu przekładnika zależy od przepływu pierwotnego ($I_1 z_1$) i wtórnego ($I_2 z_2$). Ponieważ przepływ wtórny przeciwdziała pierwotnemu, strumień wypadkowy jest niewielki a indukcja w rdzeniu waha się w granicach $0,05 \div 0,10$ T. W przypadkach przerwy w uzwojeniu wtórnym przepływ uzwojenia pierwotnego pozostaje taki sam, natomiast przepływ uzwojenia wtórnego jest równy zero. Strumień magnetyczny osiąga bardzo duże wartości (indukcja wzrasta do około $1 \div 1,5$ T). Powoduje to wielokrotny wzrost strat w żelazie i wzrost temperatury rdzenia, co może wywołać przegrzanie i zniszczenie izolacji urządzeń. Ponadto w uzwojeniu wtórnym, wskutek bardzo dużych zmian

strumienia w czasie, indukuje się napięcie o wartości kilku a nawet kilkunast tysięcy woltów. Stanowi to zagrożenie dla personelu obsługującego oraz może prowadzić do zniszczenia izolacji. Z tych względów, jeżeli przekładnik nie jest obciążony (miernikami lub przekąźnikami), należy go po stronie wtórnej zewrzeć bezpośrednio lub przez rezystancję wynoszącą 25÷100% obciążenia znamionowego. Również w przypadkach wymiany przyrządów włączonych w obwód wtórny przekładnika należy najpierw zewrzeć uzwojenie wtórne lub zaciski, do których przyrząd jest przyłączony.

Przekładniki napięciowe służą do transformacji napięcia na żądane napięcie znormalizowane do zasilania cewek napięciowych przyrządów pomiarowych i przekąźników. Zasada działania przekładników napięciowych jest analogiczna jak zasada działania transformatorów mocy, z tym że moc ich jest wielokrotnie mniejsza i praca odbywa się w stanie zbliżonym do stanu jałowego (rys. 14.3).



Rys. 14.3. Przekładnik napięciowy: a) zasada działania, b) schemat zastępczy, c) wykres wskazowy; R_1, R_2, X_1, X_2 – rezystancje i reaktancje uzwojeń strony pierwotnej i wtórnej przekładnika; $I_{\mu b}, I_{\mu c}$ – składowe bierna i czynna prądu magnesującego, Z_{obc} – impedancja obciążenia, I_2 – prąd obciążenia

Stosunek znamionowego napięcia pierwotnego U_{1n} do wtórnego U_{2n} nazywa się przekładnią

$$\vartheta_u = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \approx \frac{z_1}{z_2} \quad (14.7)$$

Znając przekładnię przekładnika oraz wartość napięcia wtórnego U_2 można obliczyć wartość napięcia pierwotnego

$$U_1 = U_2 \vartheta_u \quad (14.8)$$

Wartość napięcia pierwotnego wyznaczona z zależności (14.8) jest obciążona błędem napięciowym ($\Delta U\%$) określonym wzorem

$$\Delta U\% = \frac{U_2 \vartheta_u - U_1}{U_1} 100 \quad (14.9)$$

Zgodnie z wykresem z rysunku 14.3c błąd napięciowy przekładnika

$$\Delta U\% = - \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{U_1} 100 \quad (14.10)$$

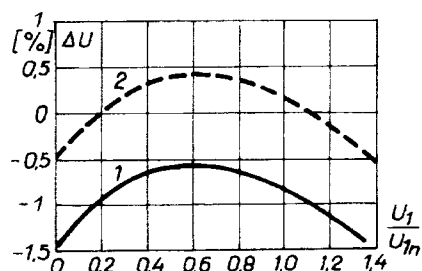
$$\Delta U\% = - \left[\frac{I_\mu Z_1 \sin(\varphi_0 + \varphi_1)}{U_1} + \frac{I_2 Z_w \cos(\varphi - \varphi_w)}{U_1} \right] 100 \quad (14.11)$$

Oznaczenia występujące we wzorach (14.10) i (14.11) są zgodne z objaśnieniami podanymi na rysunku 14.3.

Błąd napięciowy ma dwie składowe. Jedna (ΔU_1) jest spowodowana przepływem prądu magnesującego I_μ przez uzwojenie pierwotne i spadkiem napięcia na impedancji Z_1 . Składowa ta występuje z chwilą włączenia przekładnika na napięcie U_1 . Druga składowa (ΔU_2) jest wywołana przepływem prądu obciążenia I_2 i spadkiem napięcia na impedancji uzwojeń Z_1 i Z_2 . Składowa ta zależy od obciążenia przekładnika. Podobnie jak przekładniki prądowe, przekładniki napięciowe cechuje również błąd kątowy (δ_u). Jest to kąt między wskazem napięcia wtórnego i pierwotnego. Dodatni błąd kątowy oznacza, że wskaz napięcia wtórnego wyprzedza wskaz napięcia pierwotnego.

W przekładnikach, w których przekładnia jest równa ilorazowi zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego, błąd napięciowy jest zawsze ujemny. Przekładniki takie nazywa się **nieskorygowanymi**. Błędy napięciowe można zmniejszyć przez zastosowanie tzw. poprawki zwojowej polegającej na dodaniu w uzwo-

jeniu wtórnym kilku zwojów lub odjęciu odpowiedniej liczby zwojów w uzwojeniu pierwotnym przy zachowaniu oznaczenia przekładni. Zastosowanie poprawki zwojowej powoduje przesunięcie charakterystyki w kierunku wartości dodatnich (rys. 14.4).



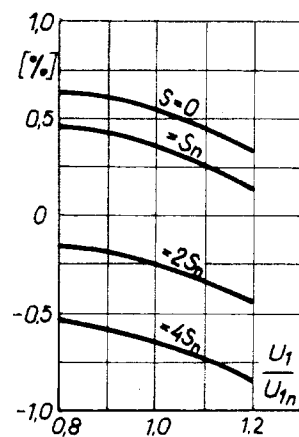
Rys. 14.4. Zależność błędów napięciowych przekładnika od napięcia pierwotnego przy stałym obciążeniu: 1 - przekładnika nieskorygowanego, 2 - przekładnika z jedno-procentową poprawką zwojową

Błędy napięciowe przekładników napięciowych zależą od zmian napięcia pierwotnego oraz od obciążenia (rys. 14.5). Klasy dokładności przekładników napięciowych są następujące: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3 (przekładniki pomiarowe) oraz 3P i 6P (przekładniki zabezpieczeniowe).

Przekładnik napięciowy charakteryzowany jest również mocą znamionową przekładnika. Jest to wartość mocy pozornej, którą przekładnik może zasilac obwód wtórny przy znamionowym napięciu wtórnym i znamionowym obciążeniu.

Obciążenie wtórne przekładnika ustala się przez bezpośredni pomiar lub dodanie mocy pobieranych przez poszczególne przyrządy. W obliczeniach praktycznych dopuszczalne jest sumowanie algebraiczne.

Ciepłna moc graniczna jest to wartość mocy pozornej odniesiona do napięcia znamionowego, która może być pobierana z uzwojenia wtórnego w przypadku zasilania znamionowym napięciem pierwotnym, bez przekroczenia dopuszczalnych przyrostów temperatury.



Rys. 14.5. Zależność błędu napięciowego przekładnika napięciowego klasy 0,5 o mocy znamionowej S_n od napięcia pierwotnego i od obciążenia

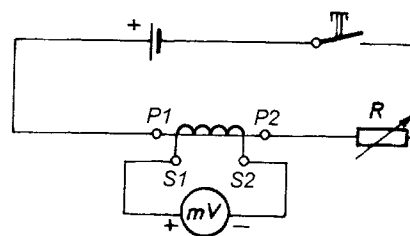
14.3. Program ćwiczenia

A. Przekładniki prądowe

Zakres ćwiczenia obejmuje wykonanie następujących badań:

- ogłędziny zewnętrzne,
- sprawdzenie oznaczeń zacisków przekładnika,
- miar rezystancji uzwojeń,
- miar rezystancji izolacji,
- miar błędów prądowych,
- sprawdzenie błędu całkowitego,
- miar współczynników FS oraz KG.

1. **Ogłędziny zewnętrzne.** Należy zapoznać się z danymi znamionowymi przekładnika, sprawdzić stan elementów konstrukcyjnych, izolacyjnych i wiodących prąd oraz poprawność mocowania zacisków.



Rys. 14.6. Schemat układu pomiarowego do sprawdzenia oznaczeń zacisków przekładnika prądowego

2. **Sprawdzenie oznaczeń zacisków przekładnika.** Przy prawidłowym oznaczeniu zacisków przekładnika kierunek prądu w przyrządzie pomiarowym zasilanym za pośrednictwem tego przekładnika powinien być taki sam jak przy włączeniu go bezpośrednio do obwodu pomiarowego. Prawidłowość oznaczeń sprawdzamy w układzie podanym na rysunku 14.6.

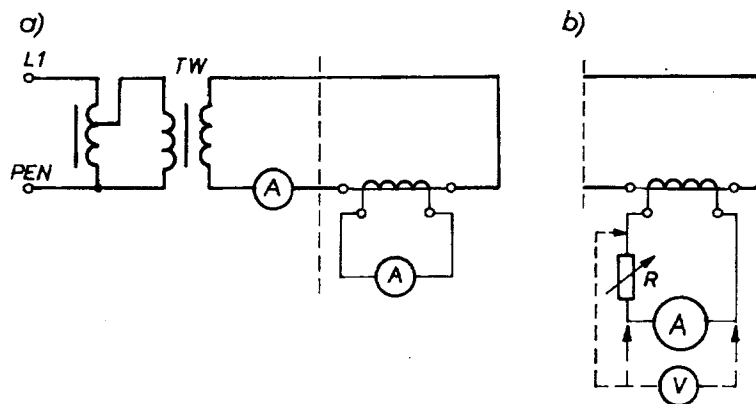
Po zamknięciu wyłącznika powinno nastąpić wychylenie wskazówki przyrządu. Jeżeli oznaczenia zacisków są prawidłowe, to po zamknięciu obwodu ze źródłem prądu wskazówka przyrządu po stronie wtórnej przekładnika powinna wychylać się tak samo, jak i w przypadku bezpośredniego włączenia przyrządu do obwodu źródła, tzn. w kierunku skali. Przy przerywaniu obwodu źródła za pomocą wyłącznika, wskazówka przyrządu włączonego w obwód wtórny będzie wychylać się w stronę przeciwną niż poprzednio. Jeżeli wynik pomiaru jest zgodny z przyjętymi wyżej założeniami, to możemy uznać, że końcówki uzwojeń przekładnika oznaczone są poprawnie.

3. **Pomiar rezystancji uzwojeń.** Pomiary należy wykonać mostkiem Thomsona.

4. **Pomiar rezystancji izolacji.** Pomiary należy wykonać megaomomierzem o napięciu 500 V.¹

5. **Pomiar błędów prądowych.** Pomiary należy wykonać przy obciążeniu obwodu wtórnego jednym amperomierzem (rys. 14.7a) oraz przy obciążeniu obwodu wtórnego mocą znamionową (rys. 14.7b).

W obwodzie (wg rys. 14.7a) zmieniamy natężenie prądu pierwotnego o $0,1 I_{1n}$ do $1,2 I_{1n}$, co $0,1 I_{1n}$ i odczytujemy natężenie prądu w obwodzie wtórnym a następnie obliczamy uchyb prądowy według wzoru (14.3) i przekładnię rzeczywistą ϑ_i według wzoru (14.2).



Rys. 14.7. Układ do pomiarów błędów prądowych przy obciążeniu przekładnika jednym amperomierzem (a) oraz mocą znamionową (b)

Na podstawie pomiarów narysować należy zależność $\vartheta_i = f(I_1)$ oraz $\Delta I\% = f(I_2)$. Jeśli obciążymy przekładnik mocą znamionową, napięcie na jego zaciskach wtórnych powinno wynosić

$$U = \frac{S_{2n}}{I_{2n}}. \quad (14.12)$$

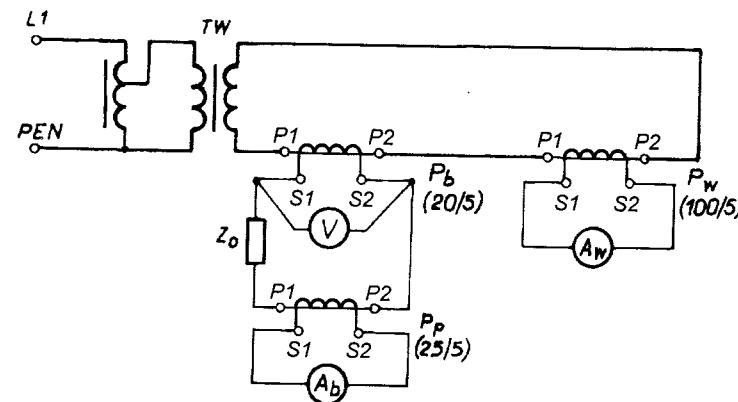
Po włączeniu obwodu (rys. 14.7b) zmieniamy natężenie prądu w obwodzie pierwotnym i regulujemy opornikiem aż do osiągnięcia obliczonej ze wzoru (14.12) wartości napięcia (przy prądzie znamionowym w obwodzie wtórnym przekładnika). Aby ustalić moc pobieraną przez amperomierz, mierzymy spadek napięcia na oporności wewnętrznej amperomierza.

¹ Odstępstwo od normy ze względu na częstość badań.

Po wyłączeniu woltomierza zmieniamy natężenie prądu w obwodzie pierwotnym od $0,1 I_{1n}$ do $1,2 I_{1n}$ co $0,1 I_{1n}$ i odczytujemy natężenie prądu w obwodzie wtórnym.

Po zakończeniu pomiarów należy obliczyć błąd prądowy i przekładnię rzeczywistą i narysować charakterystyki $\Delta I\% = f(I_2)$ oraz $\vartheta_i = f(I_1)$.

6. **Sprawdzenie błędu całkowitego metodą bezpośrednią.** Należy go wykonać w układzie przedstawionym na rysunku 14.8.



Rys. 14.8. Układ do pomiaru błędu całkowitego

Jeżeli przekładnik badany P_b ma przekładnię ϑ_b , a przekładnik wzorcowy P_w ma przekładnię ϑ_w , to przekładnia przekładnika pomocniczego P_p , który także musi być wzorcowym w rozumieniu małych błędów, winna być tak dobrana, aby $\vartheta_b \vartheta_p = \vartheta_w$. Wypadkowa impedancja obciążenia przekładnika badanego, będąca sumą impedancji Z_0 oraz impedancji wnoszonej przez przekładnik pomocniczy P_p z przyłączonym amperomierzem A_b , musi odpowiadać impedancji obciążenia, przy której sprawdza się błąd. Amperomierze A_b oraz A_w powinny być amperomierzami co najmniej klasy 0,5.

Pomiar wykonuje się w ten sposób, że zwiększa się prąd I_w w obwodzie wtórnym przekładnika P_w aż do wartości I_{wg} , przy której prąd I_b osiągnie wartość I_{bg} , która wynosi:

- dla przekładników pomiarowych $0,1 I_{wg}$,
- dla przekładników zabezpieczeniowych 5P $0,05 I_{wg}$,
- dla przekładników zabezpieczeniowych 10 P $0,1 I_{wg}$.

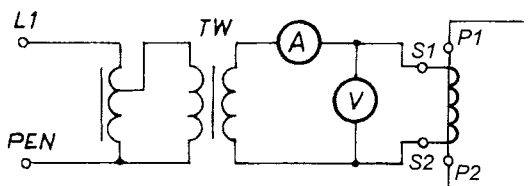
Ta wartość prądu I_{wg} jest dla przekładników pomiarowych znamionowym prądem bezpiecznym przeliczonym na stronę wtórną, natomiast dla przekładników zabezpieczeniowych jest znamionowym granicznym prądem pierwotnym przeliczonym na stronę wtórną.

Znamionowy współczynnik bezpieczeństwa przyrządów wynosi

$$FS = \frac{I_{wg}}{I_{2n}} \quad (14.13)$$

Znamionowy współczynnik graniczny dokładności przekładników zabezpieczeniowych KG jest określony również zależnością (14.13).

7. **Pomiar współczynników FS oraz KG metodą pośrednią.** Należy go wykonać w układzie przedstawionym na rysunku 14.9.



Rys. 14.9. Układ do uproszczonego sprawdzenia granicznego współczynnika dokładności

Metodą pośrednią można badać przekładniki o małych reaktancjach rozpraszania uzwojenia wtórnego.

Wyznacza się charakterystykę $U = f(I)$, przy zasilaniu uzwojenia wtórnego oraz otwartym uzwojeniu pierwotnym i otwartych wszystkich ewentualnych pozostałych uzwojeniach wtórnych (krzywa 1 na rys. 14.10.).

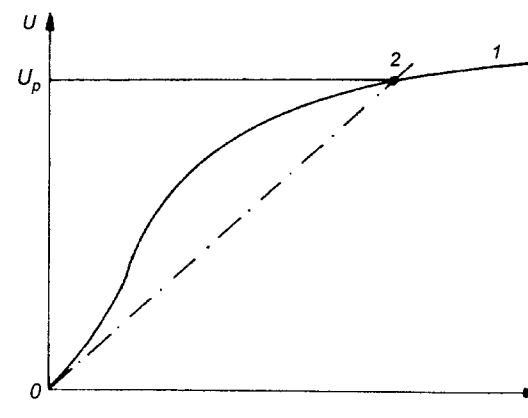
Następnie rysuje się prostą 2 o równaniu

$$U = IZ_w \frac{100}{\Delta I_{wg}} \quad (14.14)$$

gdzie:

ΔI_{wg} – błąd całkowity wynoszący dla przekładników pomiarowych 10% dla zabezpieczeniowych klasy 5P – 5%, oraz dla zabezpieczeniowych klasy 10P – 10%;

Z_w – impedancja obwodu wtórnego.



Rys. 14.10. Charakterystyki umożliwiające wyznaczenie granicznego współczynnika dokładności

Impedancję Z_w należy obliczyć z zależności

$$Z_w = \sqrt{\left(R_2 + \frac{S_n}{I_{2n}^2} \cos \varphi_n\right)^2 + \left(\omega L_2 + \frac{S_n}{I_{2n}^2} \sin \varphi_n\right)^2} \quad (14.15)$$

w której:

R_2 – rezystancja uzwojenia wtórnego,

S_n – znamionowa moc obciążenia,

I_{2n} – znamionowy prąd wtórny, $\cos \varphi$ – znamionowy współczynnik mocy obciążenia (przyjmuje się $\cos \varphi_n = 0,8$ ind.),

L_2 – indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego (dla rdzeni toroidalnych można przyjąć $L_2 = 0$).

Punkt przecięcia prostej 2 z charakterystyką 1 wyznacza napięcie U_p , które pozwala obliczyć współczynniki FS i KG według zależności

$$FS(KG) = \frac{U_p}{Z_w I_{2n}} \quad (14.16)$$

przyjmując przy wyznaczaniu U_p odpowiednie wartości ΔI_{wg} dla przekładnika pomiarowego lub zabezpieczeniowego.

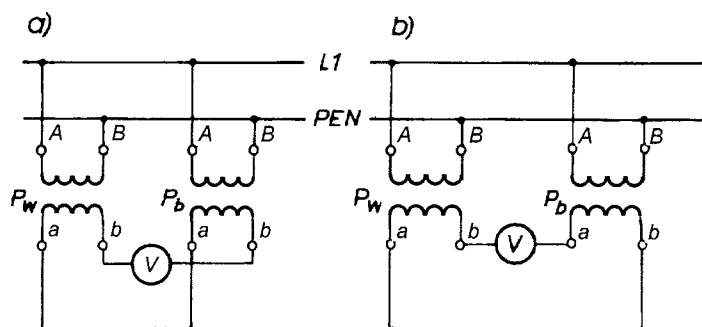
B. Przekładniki napięciowe

Zakres ćwiczenia obejmuje wykonanie następujących badań:

- ogłędziny zewnętrzne,
- sprawdzenie oznaczeń zacisków przekładnika,
- pomiar błędów napięciowych.

Ogłędziny zewnętrzne należy wykonać podobnie jak w przypadku przekładnika prądowego.

Sprawdzenie oznaczeń zacisków przekładnika. Badania należy przeprowadzić w układzie podanym na rysunku 14.11.

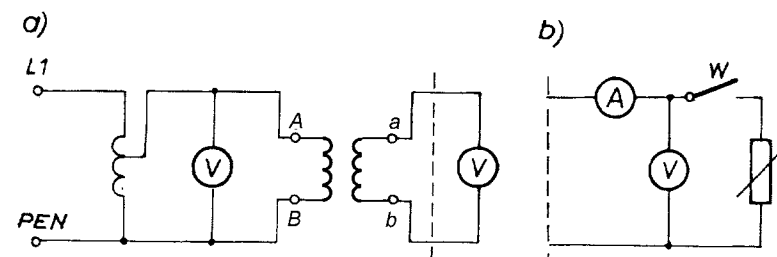


Rys. 14.11. Układy połączeń do badania prawidłowości oznaczeń zacisków przekładnika napięciowego: P_w , P_b – przekładniki wzorcowy i badany

W badanym przekładniku oznaczamy dowolnie zaciski przekładnika i łączymy go z przekładnikiem wzorcowym o tej samej przekładni. Jeżeli zaciski są oznaczone prawidłowo, woltomierz wskaże zero w układzie przedstawionym na rysunku 14.11a oraz sumę napięć wtórnych w układzie podanym na rysunku 14.11b.

Pomiar błędów napięciowych należy wykonać przy obciążeniu obwodu wtórnego jednym woltomierzem (rys. 14.12a) oraz przy obciążeniu mocą znamionową (rys. 14.12b).

W układzie podanym na rysunku 14.12a należy zmieniać napięcie pierwotne badanego przekładnika od $0,6 U_{1n}$ do $1,2 U_{1n}$ odczytując wskazania woltomierzy.



Rys. 14.12. Układ do pomiaru błędów napięciowych przy obciążeniu jednym woltomierzem (a) oraz przy obciążeniu mocą znamionową (b)

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów należy wykreślić zależność $\vartheta_u = f(U_1)$ oraz $\Delta U_{\%} = f(U_2)$. Wartość $\Delta U_{\%}$ należy obliczyć z zależności (14.9).

W układzie podanym na rysunku 14.12b włączyć należy obwód przy otwartym wyłączniku W i odczytać natężenie prądu płynącego przy obciążeniu przekładnika jednym woltomierzem przy znamionowej wartości napięcia po stronie wtórnej. Po zamknięciu wyłącznika W należy regulować wartość napięcia i natężenia prądu tak, aby przy napięciu U_{2n} amperomierz wskazał natężenie prądu I_{2n} odpowiadające mocy znamionowej przekładnika

$$S_n = I_{2n} U_{2n}. \quad (14.17)$$

Po wyłączeniu amperomierza z układu należy zmieniać napięcie pierwotne od $0,6 U_{1n}$ do $1,2 U_{1n}$ i odczytać wskazania woltomierzy po stronie pierwotnej i wtórnej przekładnika. Na podstawie odczytanych wyników pomiarów należy wykreślić charakterystykę $\vartheta_u = f(U_1)$ oraz $\Delta U_{\%} = f(U_2)$.

14.4. Opracowanie wyników badań

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań i pomiarów należy wykonać ocenę badanych przekładników oraz podać wnioski dotyczące zakresu ich stosowania.

Ćwiczenie 15

BADANIE ŁĄCZNIKÓW STYCZNIKOWYCH

15.1. Cel i zakres ćwiczenia

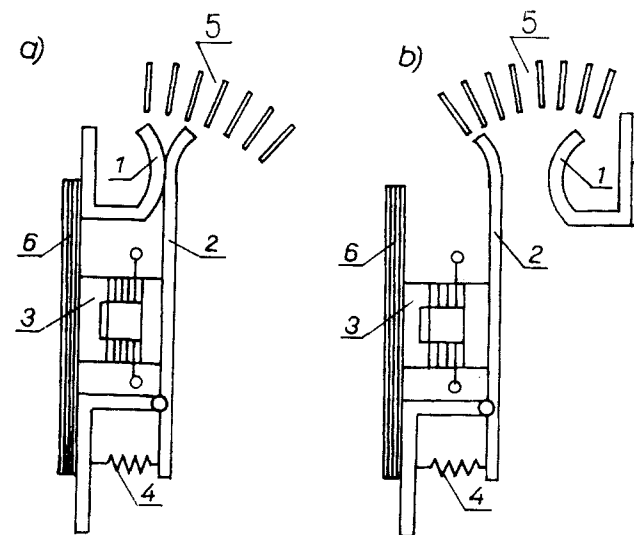
Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową, zasadą działania, zastosowaniem oraz wymaganiami technicznymi i sposobami kontroli styczników. Zakres ćwiczenia obejmuje częściowe badanie stycznika.

15.2. Wiadomości podstawowe

Łączniki stycznikowe są przeznaczone do sterowania silników elektrycznych oraz innych odbiorników energii elektrycznej, zwłaszcza gdy jest wymagana duża częstotliwość łączeń. Możliwość realizacji sterowania zdalnego, w tym również sterowania samoczynnego, poprzez zastosowanie odpowiednich czujników reagujących na różne wielkości fizyczne (temperatura, ciśnienie, poziom wody, stężenie gazu itp.) oraz duża trwałość mechaniczna i łączeniowa sprawiają, że styczniki są stosowane praktycznie we wszystkich układach napędowych oraz układach automatyki, blokady i uzależnień.

W każdym styczniku można wyróżnić następujące elementy (rys. 15.1):

- styki nieruchome oraz usprężynowane styki ruchome tworzące zestyki podstawowe w głównych torach prądowych,
- elektromagnes składający się z nieruchomego rdzenia wraz z uzwojeniem oraz ruchomej zwory elektromagnesu połączonej ze stykami ruchomymi,
- zestyki pomocnicze zwierne i rozwierne,
- komory łukowe (układ gaszeniowy),
- podstawa.



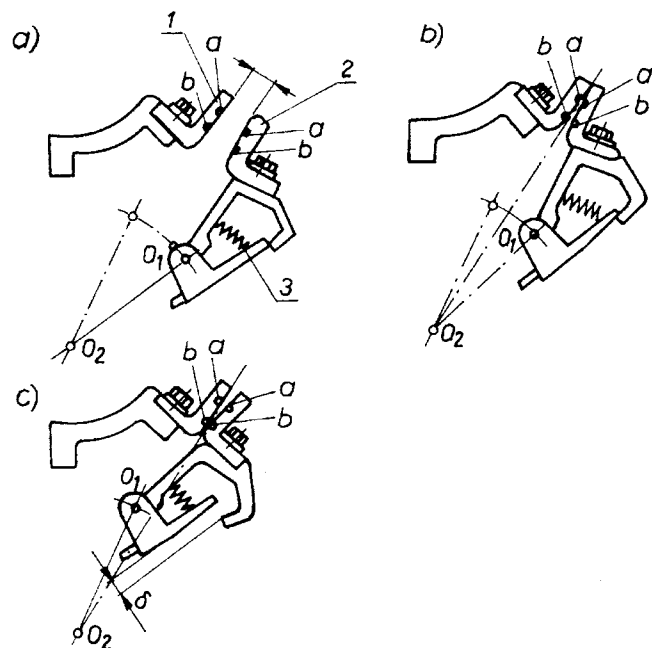
Rys. 15.1. Zasada budowy stycznika elektromagnesowego: a) zwierne, b) rozwierne; 1–styk nieruchomy, 2–styk ruchomy, 3–elektromagnes, 4–zasobnik energii zwrotnej, 5–układ gaszeniowy, 6–podstawa

Normalnie stycznik pozostaje w stanie otwartym. Doprowadzenie do cewki elektromagnesu napięcia o odpowiedniej wartości wywołuje ruch zwory elektromagnesu powodujący zamknięcie styków głównych i przestawienie styków pomocniczych oraz napinanie sprężyn zwrotnych i sprężyn układów stykowych. Stycznik pozostaje w stanie zamkniętym dopóty, dopóki uzwojenie elektromagnesu jest zasilane odpowiednim napięciem. Przerwa w zasilaniu obwodu elektromagnesu powoduje samoczynne zadziałanie (otwarcie) stycznika pod wpływem sprężyn zwrotnych napiętych w czasie załączenia.

Wobec tego, że łączniki stycznikowe przeznaczone są do załączania i przerywania jedynie prądów roboczych, nie wymaga się od nich dużej zdolności wyłączenia. Pożądana jest raczej duża zdolność załączania. W przypadkach załączania obwodu zwartego stycznik jest chroniony przed uszkodzeniem dobrze dobranymi bezpiecznikami.

Do łączników stycznikowych zalicza się również styczniki rozwierne (przerwywniki) (rys. 15.1b), mające zasadę działania odwrotną niż stycznik. Przerywają one obwód i utrzymują w stanie przerwany pod działaniem sił zewnętrznych (elektromagnesu) oraz zamykają i utrzymują w stanie zamknięcia po ustaniu działania tej siły. Podstawowym elementem toru prądowego stycznika są zestyki.

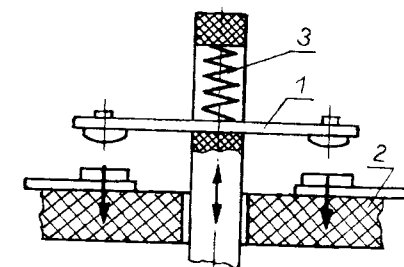
W stycznikach zastosowane są zazwyczaj zestyki czołowe. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego zestyków czołowych stosowanych w stycznikach jednoprzewodowych (jedna przerwa łukowa na każdy biegun) pokazano na rysunku 15.2. Realizowana tu jest zasada rozdzielenia miejsca styczności w stanie zamkniętym łącznika (zestyk podstawowy) od punktu pierwszej (ostatniej) styczności przy zamykaniu (otwieraniu). Zarówno przy załączaniu jak i wyłączaniu punkt zapłonu łuku jest oddalony od miejsca styczności w stanie zamkniętym. Ma to istotne znaczenie dla pracy zestyków, gdyż erozja styków wywołana działaniem łuku nie wpływa w tych warunkach na przewodzenie prądu w stanie zamkniętym.



Rys. 15.2. Zestyk czołowy w styczniku jednoprzewodowym w stanie pełnego otwarcia (a), w stanie pierwszej styczności (b) oraz w stanie pełnego zamknięcia (c): 1—styk nieruchomy, 2—styk ruchomy, 3—sprężyna dociskowa. Opis symboli literowych podano w tekście.

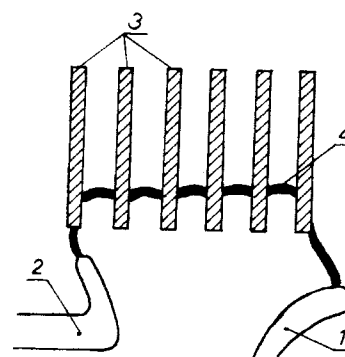
Styk ruchomy (rys. 15.2) jest umocowany przegubowo (punkt O_1) i wykonuje ruch obrotowy wokół punktu O_2 , wywołany ruchem zwory elektromagnesu. Przy zamykaniu styków pierwszym miejscem styczności jest punkt „a” (docisk wstępny). Dalszy ruch styków powoduje przemieszczenie się miejsca styczności

z punktu „a” do punktu „b” i jednocześnie następuje ugięcie sprężyny dociskowej, co zapewnia osiągnięcie wymaganej siły docisku. Przy otwieraniu łącznika następuje przesuwanie styku ruchomego po styku stałym od punktu „b” do punktu „a”, a następnie utrata styczności styków. Styki wykonuje się zazwyczaj z miedzi, niektóre większe elementy o bardziej złożonych kształtach odlewa się z mosiądzu. Często stosuje się galwaniczne srebrzenie lub nakładki ze specjalnych stopów lub spieków łukoodpornych.



Rys. 15.3. Zestyki czołowe w styczniku dwuprzewodowym: 1—styk ruchomy, 2—styk nieruchomy, 3—sprężyna dociskowa

W stycznikach dwuprzewodowym zwora elektromagnesu napędowego wraz z poprzeczką izolacyjną, łączącą styki ruchowe, wykonuje ruch prostoliniowy. Na rysunku 15.3 przedstawiono w sposób uproszczony konstrukcję zestyku czołowego stosowanego powszechnie w stycznikach dwuprzewodowych. Ze względu na kształt stykających się powierzchni (półkula–płaszczyzna) są to zestyki punktowe. Wymagany docisk zestykowy zapewnia sprężyna (3). Zaletą układu dwuprzewodowego jest mniejszy skok styku ruchomego oraz wyeliminowanie połączeń elastycznych, niezbędnych w układzie jednoprzewodowym. Wady takiego układu to konieczność stosowania podwójnego docisku oraz możliwość niejednoczesnego otwierania zestyków.



Rys. 15.4. Komora gaszeniowa z poprzecznymi przegrodami metalowymi: 1—styk ruchomy, 2—styk nieruchomy, 3—przegrody poprzeczne, 4—łuk elektryczny

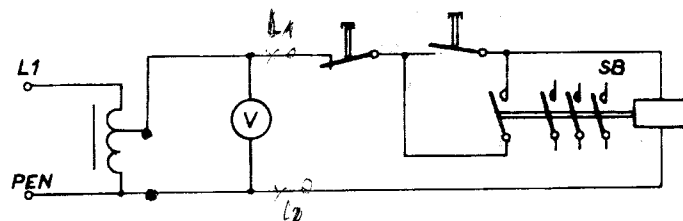
Komory gaszeniowe stosowane w stycznikach prądu przemiennego zależne są od parametrów łączeniowych. W stycznikach o małych prądach (kilkanaście amperów) zadanie komory sprowadza się do funkcji osłony izolacyjnej, zabezpieczającej przed powstaniem zwarć międzyfazowych i doziemnych. Gaszenie łuku w tym zakresie prądów przemiennych nie wymaga stosowania żadnych specjalnych środków (są to z zasady układy dwuprzewodowe). Przy większych parametrach łączeniowych komory gaszeniowe styczników, pracujące w powietrzu atmosferycznym, są wyposażone w poprzeczne przegrody metalowe (rys. 15.4). Metalowe płytki

(miedziane lub stalowe) są umieszczone w komorze prostopadle do osi łuku, tak że wprowadzony pomiędzy płytki łuk dzieli się na szereg łuków krótkich. Wytrzymałość powrotna kolumny połukowej po przejściu prądu przez zero, będąca sumą wytrzymałości powrotnej krótkich kanałów połukowych, jest w tym przypadku znacznie większa i intensywniejszy jest również odbiór ciepła z łuku przez płytki. Istnieją więc warunki do szybkiego gaszenia łuku prądu przemiennego. Skuteczność działania komory płytkowej zależy między innymi od liczby płytek, ich kształtu, materiału i odstępów pomiędzy nimi. Wpływ na pracę komory ma również materiał izolacyjny, stanowiący obudowę i konstrukcję mocującą płytki metalowe.

Najczęściej stosowanym napędem styczników niskiego napięcia prądu przemiennego jest napęd elektromagnesowy. W elektromagnesach prądu przemiennego zachodzi konieczność przeciwdziałania drganiom zwory w stanie zamkniętym, spowodowanym okresową zmianą strumienia magnetycznego i wywołanej nim siły. Zjawisku drgań przeciwdziała się stosując uzwojenie tłumiące, zwykle w postaci pierścienia metalowego obejmującego część rdzenia elektromagnesu.

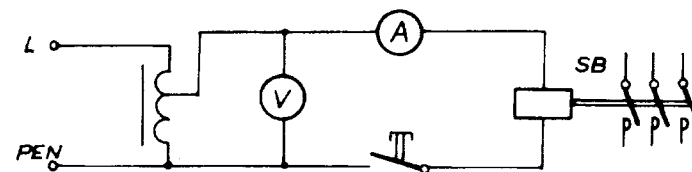
15.3. Program ćwiczenia

Sprawdzenie działania napędu elektromagnesowego. Podczas każdego cyklu przestawieniowego należy najpierw obniżyć płynnie napięcie (rys. 15.5), do wartości 0,75 znamionowego napięcia sterowniczego, i sprawdzić czy łącznik pozostaje w stanie wymuszonym, a następnie obniżyć skokowo napięcie do wartości 0,3 napięcia znamionowego (dla prądu przemiennego) i sprawdzić, czy łącznik wrócił do stanu spoczynkowego. Granice działania napędu elektromagnesowego są następujące: dolna i górna granica napięcia sterowniczego wynosi odpowiednio 0,85 i 1,1 napięcia znamionowego – przy przestawieniu ze stanu spoczynkowego w stan wymuszony, 0,75 i 1,1 napięcia znamionowego – przy utrzymywaniu w stanie wymuszonym oraz 0,3 jako dolna granica napięcia sterowniczego – przy powrocie do stanu spoczynkowego.



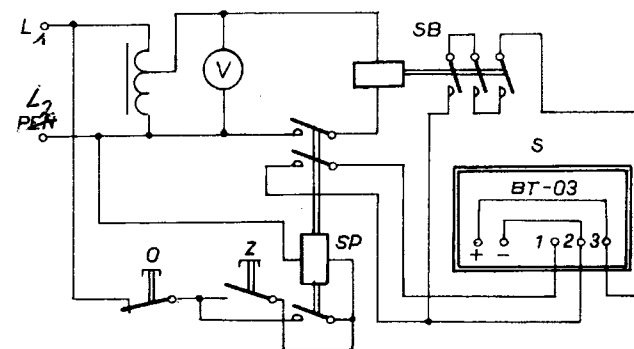
Rys. 15.5. Układ do prób działania napędu elektromagnesowego stycznika: SB – stycznik badany

Wyznaczenie zależności statycznej wartości prądu płynącego przez cewkę elektromagnesu od drogi zwory. W elektromagnesach na prąd przemienny (w odróżnieniu od elektromagnesów na prąd stały) występuje zmiana wartości prądu płynącego przez cewkę przy zmianie szerokości szczeliny między rdzeniem i ruchomą zworą. W miarę bowiem zmniejszenia długości szczeliny wzrasta reaktancja uzwojenia i przy stałej wartości napięcia zasilającego zmniejsza się wartość prądu płynącego przez uzwojenia cewki elektromagnesu.



Rys. 15.6. Układ do wyznaczania zależności prądu płynącego przez cewkę elektromagnesu od drogi zwory

Pomiary należy wykonać (rys. 15.6) na przystosowanym do tego celu styczniku. Różne wartości długości szczeliny uzyskuje się wkładając między rdzeń a zworę wkładki izolacyjne o odpowiedniej grubości. W czasie wykonywania pomiarów należy pamiętać, że elektromagnes nawet częściowo otwarty powoduje, że przez jego cewkę przepływa prąd o dużej wartości i cewka może być łatwo przeciążona. Pomiary powinny więc trwać możliwie krótko. Wykonać je należy przy znamionowym napięciu cewki.

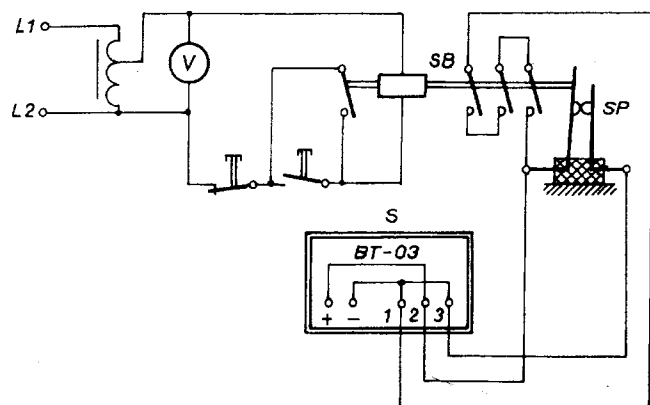


Rys. 15.7. Układ do pomiaru czasu własnego mechanizmu napędowego stycznika przy zamknięciu: SB – stycznik badany, SP – stycznik pomocniczy, S – sekundomierz kondensatorowy

Pomiar czasu własnego mechanizmu napędowego stycznika. Pomiaru czasu dokonuje się za pomocą sekundomierza kondensatorowego w układzie przedstawionym na rysunku 15.7. Po przyciśnięciu przycisku *Z* zamyka się stycznik pomocniczy o dużej równoczesności zamykania się zestyków. W chwili zamknięcia się stycznika *SP* zaczyna się zamykać stycznik badany *SB*, jednocześnie zostaje podany impuls pomiarowy na sekundomierz kondensatorowy *S*, który zaczyna mierzyć czas. Z chwilą zetknięcia się styków wszystkich trzech biegunów stycznika *SB*, zaciski wejściowe sekundomierza zostają zwarte i sekundomierz zatrzymuje się. Powrót układu do stanu wyjściowego następuje po przyciśnięciu przycisku 0.

Pomiary należy przeprowadzić dla napięć 0,85; 1,0; 1,1 napięcia znamionowego, wykonując dla każdego z nich po 10 pomiarów. Następnie należy wyznaczyć wartości średnie oraz najmniejszą i największą mierzonego czasu.

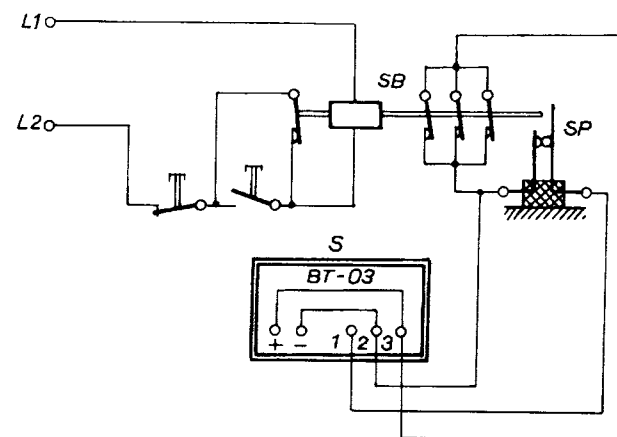
Pomiar czasu schodzenia się styków stycznika. Jest to czas mierzony od chwili rozpoczęcia przez styki ruchome łącznika ruchu zamykającego do chwili uzyskania styczności styków we wszystkich biegunach łącznika. Pomiary należy wykonać w układzie przedstawionym na rysunku 15.8. Jako zestyk pomocniczy wykorzystano zestyk umocowany na oddzielnej konstrukcji wsporczej przymocowanej do podstawy stycznika. Zestyk ten otwiera się w chwili ruszenia styku stycznika.



Rys. 15.8. Układ do pomiaru czasu schodzenia się styków stycznika: *SB*–stycznik badany, *SP*–stycznik pomocniczy

Pomiar czasu rozchodzenia się styków stycznika. Pomiarów należy dokonać w układzie przedstawionym na rysunku 15.9. Czas rozchodzenia się styków

jest to czas mierzony od chwili utraty styczności styków do chwili osiągnięcia położenia otwarcia przez styk ruchomy. W danym układzie zestyk pomocniczy otwiera się w ostatnim stadium ruchu styków.



Rys. 15.9. Układ do pomiaru czasu rozchodzenia się styków stycznika: *SB* – stycznik badany, *SP* – stycznik pomocniczy

Wyznaczenie wartości średniej prędkości styków przy ich zamykaniu. Wartość średniej prędkości styku ruchomego można obliczyć ze wzoru

$$V_z = \frac{a}{t_s}, \quad (15.1)$$

w którym:

- a – odległość między stykami,
- t_s – czas schodzenia się styków.

Należy obliczyć średnią wartość prędkości dla trzech wartości napięć zasilających (0,85; 1,0; 1,1 U_n).

Wyznaczenie wartości średniej prędkości styków przy otwieraniu. Prędkość średnią należy obliczyć korzystając z wyników pomiaru czasu rozchodzenia się styków stycznika.

15.4. Opracowanie wyników badań

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań i pomiarów wykonać ocenę badanego stycznika oraz sporządzić wykres zależności prądu płynącego przez cewkę elektromagnesu od szerokości szczeliny. Należy narysować schematycznie układ styków, komorę gaszeniową oraz układ napędowy.

Ćwiczenie 16

BADANIE PRZEKAZNIKÓW TERMOBIMETALOWYCH

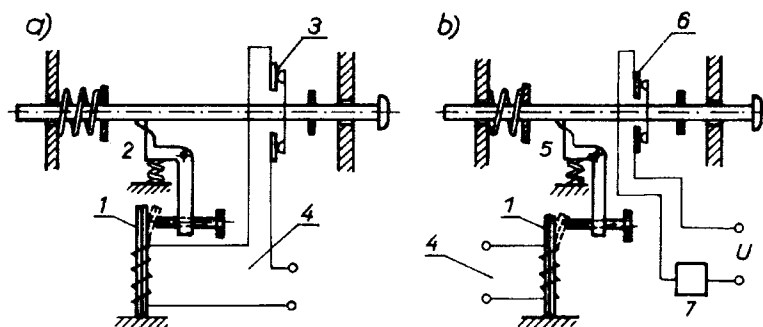
16.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową, zasadą działania i zastosowaniem przekaźników (wyzwalaczy) termobimetalowych. Zakres ćwiczenia obejmuje wyznaczanie charakterystyki czasowo-prądowej przekaźnika termobimetalowego, zasilanego bezpośrednio oraz poprzez przekładnik prądowy. W trakcie ćwiczenia należy wykonać również badania przekaźnika z wykorzystaniem urządzenia diagnostycznego do badania przekaźników termobimetalowych.

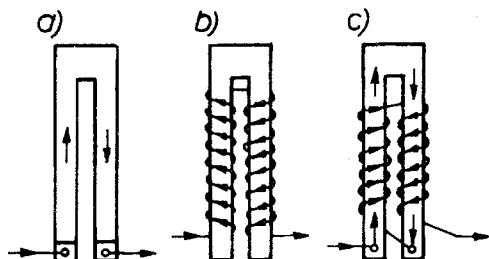
16.2. Wiadomości podstawowe

Wyzwalacze (przekaźniki) termobimetalowe (rys. 16.1) reagują na przyrost temperatury wywołany przepływającym prądem. Wyzwalacze działają pod wpływem impulsu zewnętrznego lub impulsu spowodowanego zmianą wartości prądu elektrycznego w obwodzie i powodują bezpośrednio zwolnienie zapadki zamka. Przekaźniki spełniają to samo zadanie, ale działają pośrednio np. przez przerwanie obwodu cewki sterującej.

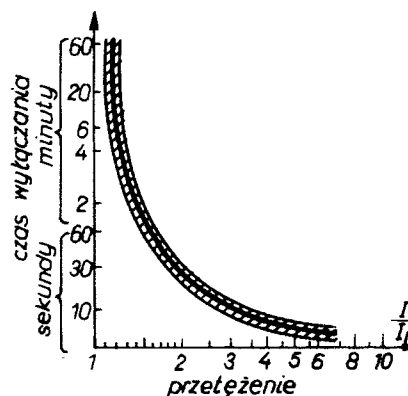
Podstawowym elementem wyzwalacza jest termobimetal wykonany z dwóch sprasowanych (zgrzanych) pasków metali o różnej rozszerzalności cieplnej. Przy odpowiednio dużym prądzie, przyrost temperatury jest znaczny, a bimetal odkształca się w takim stopniu, że powoduje zwolnienie mechanizmu zamka wyłącznika. Bimetal można nagrzewać bezpośrednio przez przepuszczenie prądu przez same paski, pośrednio przez owinięcie pasków uzwojeniami, przez które przepływa prąd oraz w sposób mieszany polegający na jednoczesnym wykorzystaniu dwóch po przednich sposobów (rys. 16.2). Przy dużych prądach przeciążeniowych stosuje się nagrzewanie za pośrednictwem przekładników prądowych.



Rys. 16.1. Zasada działania wyzwalacza (a) i przełącznika termobimetalowego (b): 1—element bimetalowy, 2—zapadka zamka głównego łącznika, 3—zestyki toru prądowego głównego łącznika, 4—część toru prądowego głównego łącznika, 5—zapadka zamka przełącznika termobimetalowego, 6—zestyki przełącznika termobimetalowego, 7—cewka napędu stycznika lub cewka niedomiarowa (zanikowa) wyłącznika



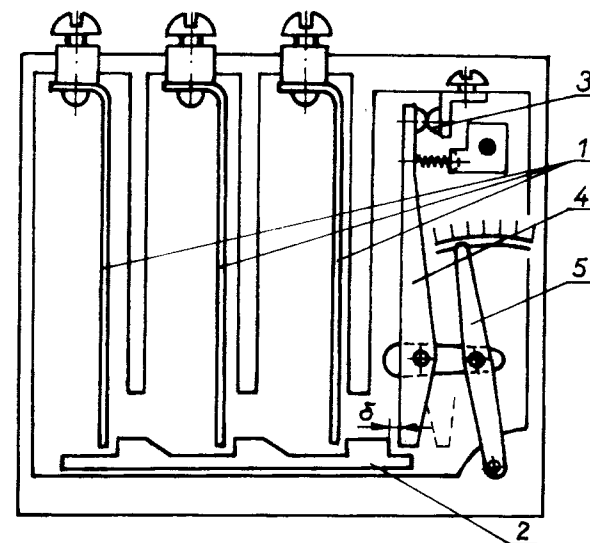
Rys. 16.2. Ogrzewanie płytek bimetalowych w wyzwalaczach termobimetalowych: a) bezpośrednie, b) pośrednie, c) mieszane



Rys. 16.3. Przykładowa charakterystyka czasowo-prądowa przełącznika termobimetalowego: I_n — prąd nastawczy

Osiągnięcie temperatury niezbędnej do wygięcia się bimetalu w stopniu powodującym zadziałanie wyzwalacza wymaga pewnego czasu, zależnego od materiału termobimetalu, pojemności cieplnej, warunków chłodzenia oraz sposobu i intensywności ogrzewania bimetalu. Wyzwalacze (przełączniki) termiczne posiadają więc charakterystykę czasowo-prądową zależną (rys. 16.3). Charakterystyka ta powinna być tak dobrana, aby zabezpieczane urządzenie zostało wyłączone zanim jakkolwiek element tego urządzenia przekroczy temperaturę dopuszczalną.

Charakterystyka przełącznika cieplnego powinna pokrywać się lub przebiegać możliwie blisko, lecz poniżej charakterystyki cieplnej chronionego urządzenia.



Rys. 16.4. Trójbiegunowy przełącznik termobimetalowy: 1—element termobimetalowy, 2—listwa, 3—zestyk, 4—dźwignia, 5—układ dźwigniowy zmiany nastawy

Na rysunku 16.4 przedstawiono uproszczony widok trójfazowego przełącznika termobimetalowego. Przy wzroście temperatury elementy termobimetalowe (1) uginają się, a przy przekroczeniu prądu nastawczego osiągają po pewnym czasie krawędź izolacyjnej listwy (2) i poprzez układ dźwigniowy powodują otwarcie zestyku (3) włączonego w obwód sterowania łącznika, z którym przełącznik współpracuje. Zmiana prądu nastawczego dokonuje się przez zmianę szczeliny δ .

Wyzwalacze lub przełączniki termobimetalowe stosuje się przeważnie jako zabezpieczenie przeciążeniowe silników. Przełącznik (wyzwalacz) taki, dobrany prawidłowo do ochrony silnika elektrycznego od przeciążeń, działa zwykle fałszywie przy dłuższym trwającym rozruchu ($t > 12$ s) lub przy pracy przerywanej o dużej liczbie łączy. Wynika to przede wszystkim ze zbyt małej cieplnej stałej czasowej elementu termobimetalowego oraz z samego rozwiązania mechanizmu przełącznika, mającego umożliwić mu działanie przy mniejszych przeciążeniach silnika. W takich przypadkach prawidłowe działanie przełączników termobimetalowych można osiągnąć stosując do ich zasilania przekładniki o małym współ-

czynnika bezpieczeństwa FS równym około $1,5 \pm 3$ tzw. przekładników szybko nasycających się. Przekładniki te dzięki odpowiednim kształtom i wymiarom rdzenia z blachy żelazoniklowej nasycają się przy małej krotności prądu znamionowego. Powyżej tej krotności coraz większa część prądu bierze udział w magnesowaniu rdzenia, coraz mniejszy, w porównaniu z wynikającym z przekładni zwojowej, jest prąd wtórny przekładnika. Rośnie zatem bardzo szybko uchyb prądowy przekładnika.

Jeżeli więc w obwód wtórny takiego przekładnika będą włączone przekaźniki termobimetalowe to:

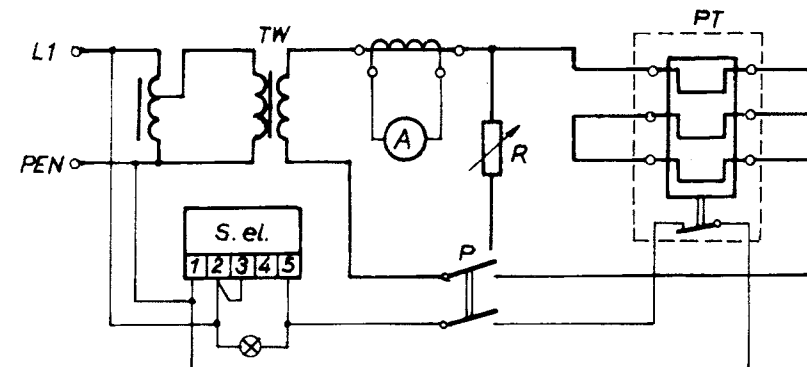
- przy przeciążeniach, dla prądów nie przekraczających około dwukrotnej wartości znamionowego prądu pierwotnego przekładnika szybko nasycającego się, transformuje on prąd z uchybem ujemnym nie przekraczającym 10% i do przekaźnika termobimetalowego doprowadzony jest prąd proporcjonalny do prądu obciążenia silnika;
- przy rozruchu silnika, gdy prąd jest dużą krotnością jego prądu znamionowego, przekładnik szybko nasycający się transformuje prąd rozruchowy z dużym ujemnym uchybem, znacznie większym niż 10%.

Współczynnik bezpieczeństwa przekładnika prądowego zależy od obciążenia jego obwodu wtórnego, dlatego podawany jest zawsze dla określonej impedancji obwodu wtórnego lub dla pewnej ustalonej mocy pozornej obciążenia uzwojenia wtórnego, przy znamionowej wartości prądu wtórnego. Ze wzrostem obciążenia współczynnik bezpieczeństwa maleje w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalnie do obciążenia. Wynika stąd, że dostosowanie przekaźnika termobimetalowego do danego silnika o określonym prądzie rozruchowym dokonać można przez regulację impedancji obciążenia w obwodzie wtórnym przekładnika. Im większa będzie to impedancja, tym szybciej nasyci się przekładnik, a zatem mniejszy będzie jego współczynnik bezpieczeństwa.

6.3. Program ćwiczenia

Wyznaczenie charakterystyki czasowo-prądowej przekaźnika termobimetalowego. Pomiary należy wykonać dla stanu nienagrzanego w układzie podanym na rysunku 16.5. Podczas ćwiczenia należy określić punkty charakterystyki przekaźnika dla 1,5; 2,0; 2,5; 3,5; 6,0-krotnej wartości górnego i dolnego prądu na-

stawczego. W celu szybszego obniżenia temperatury termobimetalu po każdym pomiarze należy chłodzić je strumieniem powietrza.



Rys. 16.5. Układ do wyznaczania charakterystyk przekaźnika termobimetalowego: TW – transformator wieloprądowy, S.el. – sekundomierz elektryczny, PT – badany przekaźnik termobimetalowy

Czas zadziałania przekaźnika należy mierzyć od chwili załączenia obwodu prądowego badanego przekaźnika do chwili zadziałania członu łączeniowego. W czasie tym wartość przepływającego prądu powinna być stała.

Wyznaczenie charakterystyki czasowo-prądowej przekaźnika termobimetalowego zasilanego poprzez przekładnik prądowy. Pomiary należy wykonać w układzie przedstawionym na rysunku 16.6. W ćwiczeniu badany jest zespół przekaźnik–przekładnik szybko nasycający się. Należy więc prąd płynący przez uzwojenie pierwotne przekładnika nastawić według zależności

$$I = k \vartheta_n I_n,$$

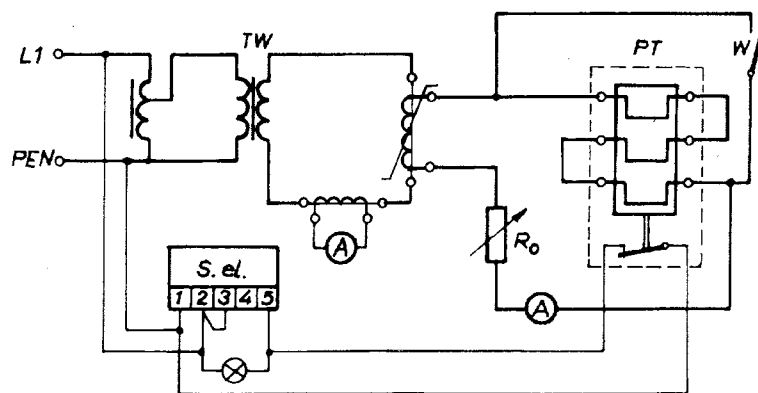
w której:

k – krotność prądu nastawczego I_n przekaźnika termobimetalowego,

ϑ_n – przekładnia znamionowa przekładnika.

Należy określić punkty charakterystyki przekaźnika dla 1,5; 2,0; 2,5; 3,5; 6,0-krotnej wartości górnego i dolnego prądu nastawczego. Pomiary należy wykonać dla rezystancji R_0 oraz dla dwóch wartości leżących w granicach 0,2 do 1 Ω). Rezystor R_0 powinien być dobrany do obciążenia prądem równym określonej krotności prądu nastawczego przekaźnika termobimetalowego.

Sprawdzenie charakterystyki przekaźników termobimetalowych. Przez przekaźnik może przepływać w dowolnie długim czasie prąd o wartości mniejszej, (lub równej) niż 1,05 wartości nastawionej. Gdy wartość przepływającego prądu wynosi 1,2 wartości nastawionej, przekaźnik działa w czasie nie przekraczającym 40 minut. Czas działania przekaźnika ze stanu zimnego (nie nagrzanego przepływającym prądem) przy sześciokrotnej wartości nastawionej wynosi co najmniej 5 sekund.



Rys. 16.6. Układ do badania wpływu przekładnika szybko nasycającego się na charakterystykę przekaźnika termobimetalowego: *TW* – transformator wielkopiętowy, *S.el.* – sekundomierz elektryczny, *PT* – badany przekaźnik termobimetalowy

Pomiary należy wykonać za pomocą urządzenia diagnostycznego do badania przekaźników termobimetalowych.

16.4. Opracowanie wyników badań

- 1) Narysować charakterystykę czasowo-prądową przekaźnika termobimetalowego zasilanego bezpośrednio.
- 2) Narysować charakterystykę $t = f(k)$ przekaźnika termobimetalowego zasilanego przez przekładnik szybko nasycający się.
- 3) Narysować charakterystykę zależności prądu wtórnego przekładnika od jego prądu pierwotnego przy różnych wartościach rezystancji R_0 .
- 4) Przeanalizować wpływ przekładnika szybko nasycającego się i rezystora R_0 na charakterystykę przekaźnika termobimetalowego.
- 5) Dokonać oceny badanego przekaźnika termobimetalowego.

Ćwiczenie 17

BADANIE OBWODÓW Z ŁUKIEM ELEKTRYCZNYM

17.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z obwodami prądu stałego i przemiennego z łukiem elektrycznym, niektórymi zjawiskami towarzyszącymi wyładowaniu łukowemu w powietrzu i sposobami jego gaszenia oraz wpływem parametrów obwodu elektrycznego na wyładowania łukowe. Podczas ćwiczenia należy wykonać badania obejmujące charakterystyki statyczne i dynamiczne łuku elektrycznego.

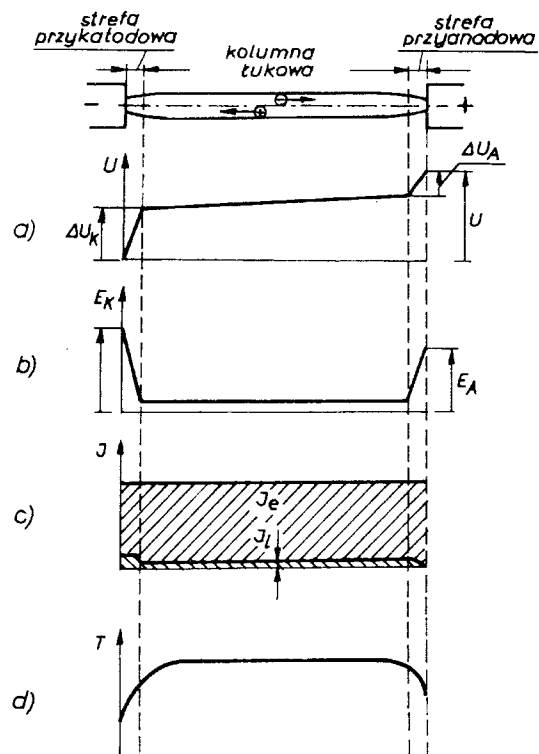
17.2. Wiadomości podstawowe

Podczas wyłączania i włączania obwodów elektrycznych na stykach łącznika pojawia się wyładowanie elektryczne, umożliwiające przepływ prądu w obwodzie. Przy prądzie powyżej $0,5 \div 1$ A i napięciu na stykach powyżej kilkunastu woltów wyładowanie to nazywamy **łukiem elektrycznym**.

Przy prądach i napięciach poniżej podanych wartości występują inne formy wyładowań elektrycznych, przy czym najczęściej jest to wyładowanie iskrowe. Przypadek wyłączenia z wyładowaniem iskrowym może praktycznie dotyczyć niskonapięciowych obwodów sterowniczych lub pomiarowych; łączenie obwodu przy wyładowaniu iskrowym nie stwarza większych trudności (poza zagrożeniem zużycia styków).

Łuk elektryczny może powstać w gazie, cieczy lub ciele stałym. Pod wpływem jego wysokiej temperatury (powyżej kilku tysięcy stopni) ciecz i ciało stałe przechodzą również w stan gazowy. Wyładowanie łukowe może występować w łącznikach elektrycznych w sposób dwojaki:

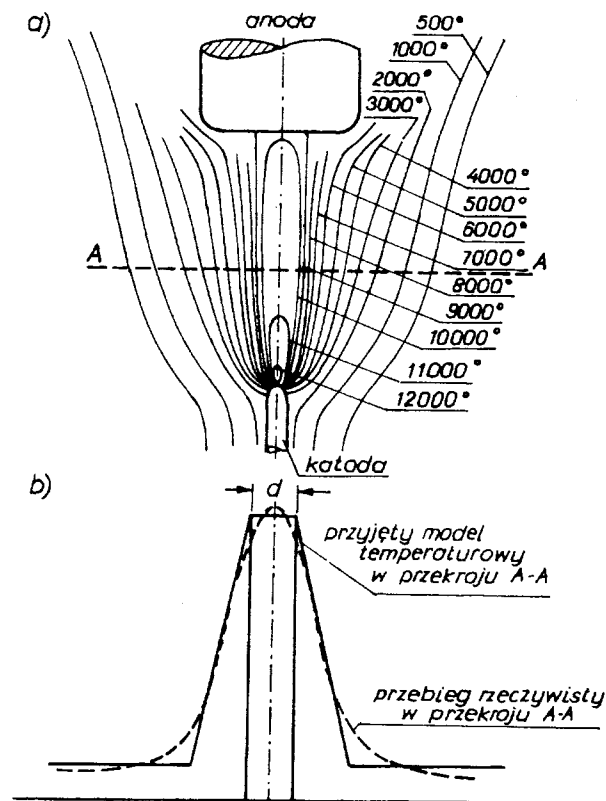
- 1) podczas rozwierania styków – kiedy wysoka temperatura ostatniego punktu styczności prowadzi do intensywnej termoemisji i termojonizacji, podtrzymanej następnie przez dostarczoną ze źródła znaczącą energię;
- 2) na skutek zapłonu od napięcia chwilowego na stykach łącznika podczas włączania obwodu lub podczas wyłączania przy zapłonach wywołanych napięciem powrotnym, zazwyczaj znacznie wyższym niż napięcie źródła. Po zapłonie energia dostarczona do łuku ze źródła powoduje jonizację termiczną.



Rys. 17.1. Schemat wyładowania łukowego i wykresy jego charakterystycznych parametrów: rozkład napięcia w kolumnie łukowej (a), rozkład natężenia pola elektrycznego (b), rozkład gęstości prądu elektronowego I_e oraz jonowego I_i (c), rozkład temperatury (d)

Na rysunku 17.1 przedstawiono schematycznie łuk elektryczny: kolumnę łukową oraz strefy – przykatodową i przyanodową. Przykatodowy spadek napięcia

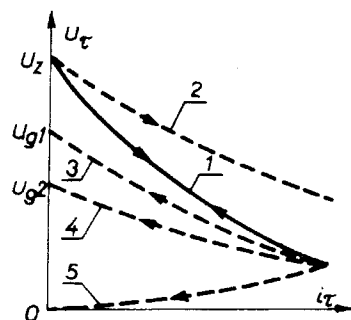
(ΔU_K) występuje w strefie przylegającej do katody, długości około 10^{-7} m. Przykatodowy spadek napięcia wynosi $10 \div 20$ V. Natężenie pola w strefie przykatodowej wynosi 10^7 V/m. Ponieważ temperatura gazu w strefie przykatodowej może osiągać znaczne wartości, w strefie tej występuje zjawisko termojonizacji. Przestrzeń przy anodzie zajmuje strefa anodowego spadku napięcia (ΔU_A) długości około 10^{-6} m. Przyanodowy spadek napięcia wynosi $2 \div 6$ V.



Rys. 17.2. Rozkład temperatury łuku: a) rzeczywisty, b) model temperaturowy przekroju łuku (d – średnica łuku)

Główną część łuku stanowi kolumna łukowa. Odznacza się ona równomierną koncentracją jonów dodatnich i elektronów oraz stałym natężeniem pola (około 50 V/cm) i wysoką temperaturą. Rozkład temperatury zależy od rodzaju i parametrów środowiska, w którym pali się łuk. Na rysunku 17.2 podano przykładowo

rozkład temperatury łuku przy prądzie 200 A, palącego się w powietrzu atmosferycznym pomiędzy elektrodami węglowymi oraz ogólny model temperatury łuku.



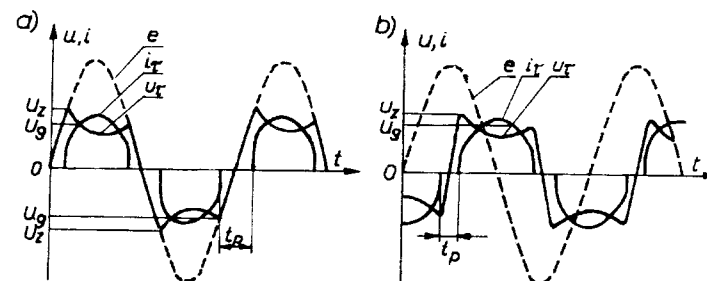
Rys. 17.3. Statyczna (1) i dynamiczna (2÷5) charakterystyki napięciowo-prądowe łuku: 1 – $di_{\tau} / dt \approx 0$; 2 – $di_{\tau} / dt > 0$; 3, 4 – $di_{\tau} / dt < 0$; 5 – $di_{\tau} / dt \rightarrow -\infty$; u_z, u_g – napięcie zapłonu i gaszenia łuku

Przebieg charakterystyki zależy od długości łuku i intensywności chłodzenia kolumny łukowej. Im łuk jest dłuższy lub im intensywność jego chłodzenia jest większa, tym dla ustalonego prądu łuku napięcie jest wyższe. W zależności od szybkości zmian prądu łuku uzyskuje się całą rodzinę charakterystyk dynamicznych, odpowiadających różnym prędkościom zmian prądu. Na przebieg charakterystyk dynamicznych mają wpływ: bezwładność zjawisk zachodzących w kolumnie łukowej, intensywność jonizacji i dejonizacji oraz zmiana średnicy kolumny łuku.

W łuku elektrycznym prądu przemiennego, niezależnie od stopnia zjonizowania przestrzeni między elektrodami, prąd co pół okresu ma wartość równą zero i zmienia kierunek przepływu. Łuk zapala się, gdy napięcie osiąga wartość napięcia zapłonu u_z i gaśnie, gdy napięcie łuku jest mniejsze od napięcia gaszenia łuku u_g . Ponieważ przy prądzie przemiennym $di/dt \neq 0$ charakterystyka łuku jest charakterystyką dynamiczną. Napięcie gaszenia jest mniejsze od napięcia zapłonu łuku ($u_g < u_z$).

Zależność prądu i napięcia łuku w obwodach prądu przemiennego przedstawiono na rysunku 17.4. W obwodzie zawierającym tylko rezystancję (rys. 17.4a) w chwili przejścia prądu przez zero napięcie zasilające ma również wartość zero. Uzyskuje się korzystne warunki zgaszenia łuku. W obwodach o przewodze reaktancji (rys. 17.4b) w chwili przejścia prądu przez zero napięcie zasilające ma wartość bliską maksymalnej. O ponownym zapłonie decyduje nie tylko jonizacja termiczna, lecz także jonizacja zderzeniowa. Warunki gaszenia łuku w obwodach zawierających indukcyjność są znacznie gorsze niż w obwodach zawierających tylko rezystancję. Czas przerwy bezprądowej jest również krótszy.

Zależność prądu i napięcia łuku w obwodach prądu przemiennego przedstawiono na rysunku 17.4. W obwodzie zawierającym tylko rezystancję (rys. 17.4a) w chwili przejścia prądu przez zero napięcie zasilające ma również wartość zero. Uzyskuje się korzystne warunki zgaszenia łuku. W obwodach o przewodze reaktancji (rys. 17.4b) w chwili przejścia prądu przez zero napięcie zasilające ma wartość bliską maksymalnej. O ponownym zapłonie decyduje nie tylko jonizacja termiczna, lecz także jonizacja zderzeniowa. Warunki gaszenia łuku w obwodach zawierających indukcyjność są znacznie gorsze niż w obwodach zawierających tylko rezystancję. Czas przerwy bezprądowej jest również krótszy.



Rys. 17.4. Prąd (i_{τ}) i napięcie łuku (u_{τ}) w obwodzie szeregowym R, L prądu przemiennego z łukiem elektrycznym: a) przebiegi przy $L = 0, R \neq 0$, b) przebiegi przy $R = 0, L \neq 0$, e – przebieg napięcia zasilającego, u_z, u_g – napięcie zapłonu i gaszenia łuku, t_p – czas przerwy bezprądowej

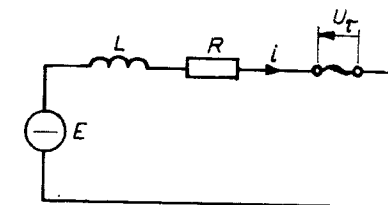
W warunkach rzeczywistych przebiegi prądu i napięcia łuku, w zależności od parametrów R oraz L , będą zawarte pomiędzy podanymi na rysunkach 17.4a i 17.4b odnoszącymi się do warunków skrajnych.

Warunki palenia się i gaśnięcia łuku elektrycznego w obwodzie prądu stałego (rys. 17.5) są określone równaniem

$$E = Ri + L \frac{di}{dt} + u_{\tau}, \quad (17.1)$$

w którym:

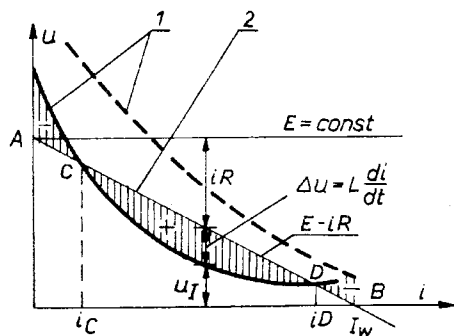
R – rezystancja zastępcza obwodu,



Rys. 17.5. Schemat zastępczy obwodu prądu stałego z łukiem elektrycznym

L – indukcyjność zastępcza obwodu,
 u_τ – napięcie łuku, zależne od prądu, $u_\tau = f(i)$.

Równanie przedstawiono graficznie na rysunku 17.6. Prosta AB przedstawi charakterystykę zewnętrzną, wyznaczającą zależność prądu w stanie ustalonym o napięcia w obwodzie o stałej rezystancji, bez łuku elektrycznego. Na rysunku tym podano również charakterystykę łuku. Jeżeli charakterystyka łuku przecina się z charakterystyką zewnętrzną, to punkty przecięcia C i D odpowiadają ustalonym warunkom palenia się łuku przy prądzie odpowiednio i_C lub i_D , ponieważ



Rys. 17.6. Charakterystyka napięciowo-prądowa łuku i charakterystyka zewnętrzna obwodu prądu stałego: 1–charakterystyka łuku, 2–charakterystyka obwodu

łuk pali się stabilnie. Punkt D nazywamy **punktem równowagi stabilnej**.

Przy wzroście prądu w otoczeniu punktu C , z uwagi na znak pochodnej di/dt , wzrośnie on do wartości odpowiadającej punktowi D . Przy zmniejszeniu prądu w otoczeniu punktu C , pochodna $di/dt < 0$, tzn. prąd będzie malał do zera. Punkt C nazywamy **punktem pracy niestabilnej**.

Dla zgaszenia łuku prądu stałego musi być

$$L \frac{di}{dt} = E - Ri - u_\tau < 0. \quad (17.2)$$

Warunek ten będzie spełniony w całym zakresie zmian prądu, jeżeli charakterystyka łuku nie przetnie się z charakterystyką zewnętrzną (rys. 17.6). Uzyskać to można dzięki:

w tych punktach wartość $L \frac{di}{dt} = 0$ (stąd $i = \text{const.}$).

Na rysunku oznaczono obszary, w których spadek napięcia na indukcyjności $L \frac{di}{dt}$ jest większy od zera (+) lub mniejszy od zera (–).

Jeżeli $L \frac{di}{dt} > 0$, to pochodna $di/dt > 0$ i prąd wzrasta. Jeżeli zaś $L \frac{di}{dt} < 0$ to pochodna $di/dt < 0$ a więc prąd maleje.

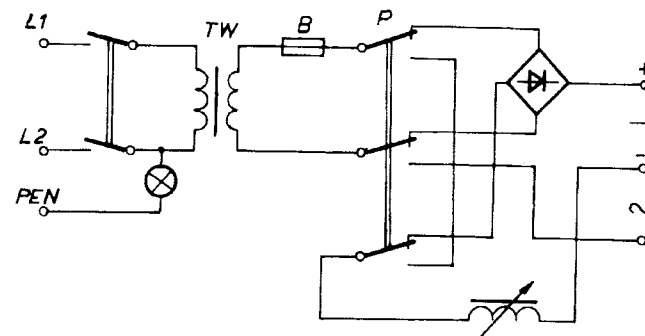
Przy zmianach prądu w otoczeniu punktu D prąd będzie zwiększał się lub zmniejszał, dążąc do uzyskania stanu równowagi w punkcie D , w którym

- 1) podniesieniu charakterystyki łuku przez wydłużenie kolumny łukowej lub zwiększenie intensywności chłodzenia;
- 2) większemu nachyleniu charakterystyki obwodu przez zwiększenie rezystancji obwodu, sposób ten jest w praktyce trudny do realizacji.

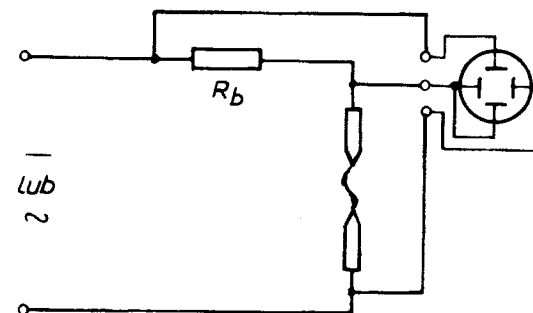
17.3. Program ćwiczenia

17.3.1. Wyjaśnienia ogólne

Stanowisko laboratoryjne składa się z układu zasilania, którego schemat ideowy przedstawiono na rysunku 17.7, oraz komory łukowej, której schemat połączeń przedstawiono na rysunku 17.8. Stanowisko umożliwia badanie obwodów prądu stałego i przemiennego z łukiem elektrycznym. Każdy punkt pomiarów należy wykonywać przy nowo zastrzonych elektrodach węglowych.



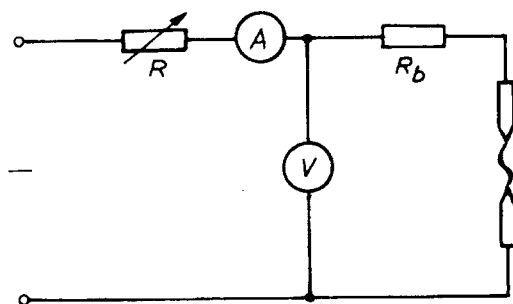
Rys. 17.7. Układ zasilania do badań obwodów prądu stałego i przemiennego z łukiem elektrycznym



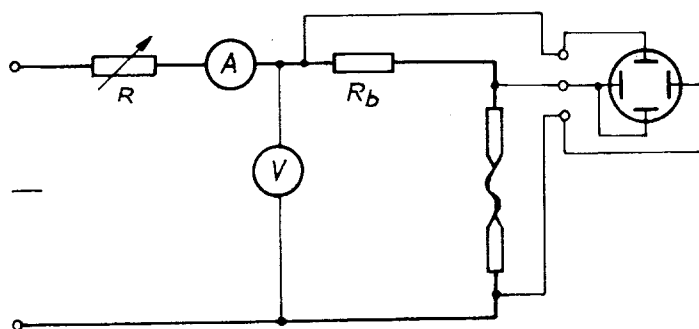
Rys. 17.8. Schemat układu elektrycznego komory łukowej: 1–elektrody, 2–bocznik (60 A, 600 mV)

17.3.2. Badanie obwodu prądu stałego z łukiem elektrycznym

Pomiar czasu palenia się łuku elektrycznego przy stałej wartości prądu i napięcia łuku. Należy połączyć układ według rysunku 17.9. Zainicjować w obwodzie łuk elektryczny poprzez zwarcie elektrod a następnie ich rozsuniecie. Zmierzyć należy czas palenia się łuku elektrycznego dla danego rodzaju elektrod. Należy wykonać trzy pomiary, każdorazowo przy nowo zaostzonych elektrodach.



Rys. 17.9. Układ do badania czasu palenia się łuku elektrycznego przy stałej wartości prądu i napięcia łuku



Rys. 17.10. Układ do badania charakterystyki statycznej łuku elektrycznego

Badanie charakterystyki statycznej łuku elektrycznego. Połączyć układ pomiarowy według rysunku 17.10. Wyznaczyć charakterystykę $U_{\tau} = f(I_{\tau})$. Napięcie łuku wyznaczyć z zależności

$$U_{\tau} = U_{\vartheta} - I_{\tau} R_e,$$

w której:

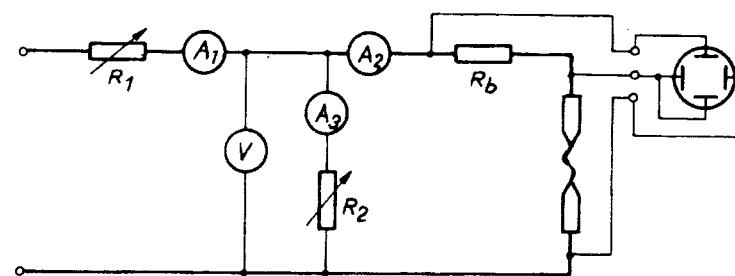
U_{ϑ} – napięcie wskazane przez woltomierz,

R_e – rezystancja elektrod.

W układzie na rysunku 17.10 $R_e \gg R_b$.

Rezystancję elektrod wyznaczyć na podstawie dwukrotnego stanu zwarcia (na początku i na końcu pomiarów).

Przebieg charakterystyki $u_{\tau} = f(i_{\tau})$ zaobserwować na oscyloskopie dla różnych wartości napięcia zasilającego.



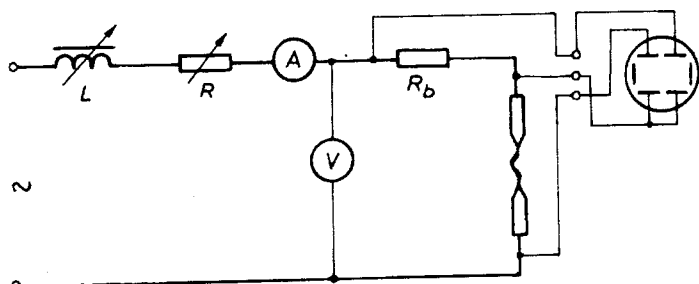
Rys. 17.11. Układ do badania charakterystyki statycznej łuku bocznikową rezystancją

Badanie charakterystyki statycznej łuku elektrycznego bocznikowaną rezystancją. Połączyć układ pomiarowy według rysunku 17.11. Wyznaczyć charakterystykę $U_{\tau} = f(I_{\tau})$ dla zadanej wartości rezystancji bocznikującej łuk przy dwóch różnych odległościach elektrod. Wyznaczyć w obu przypadkach prąd gaśnięcia łuku elektrycznego. Przebieg charakterystyki $u_{\tau} = f(i_{\tau})$ zaobserwować na oscyloskopie dla różnych wartości napięcia zasilającego oraz rezystancji bocznikującej łuk.

Wyznaczenie zależności napięcia łuku prądu stałego od odstępów między elektrodami. Połączyć układ pomiarowy według rysunku 17.9. Podaną zależność wyznaczyć dla dwóch wartości prądu elektrycznego. Zadaną wartość prądu należy utrzymywać w czasie pomiarów, regulując rezystorem R .

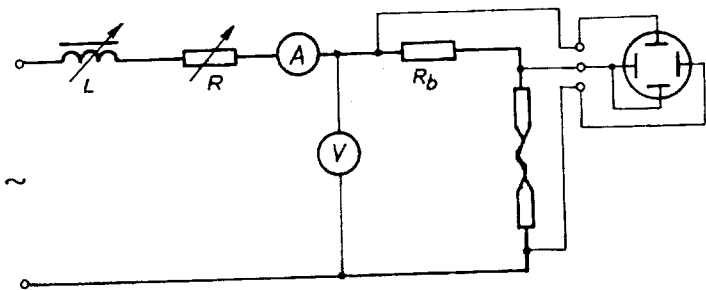
17.3.3. Badanie obwodu prądu przemiennego z łukiem elektrycznym

Zdejmowanie przebiegów prądu i napięcia łuku w funkcji czasu. Połączyć układ pomiarowy według rysunku 17.12. Na oscyloskopie należy zaobserwować przebiegi napięcia łuku $u_\tau = f(t)$ oraz prądu $i_\tau = f(t)$ w układzie z elektrodami zwartymi oraz rozwartymi, przy różnej odległości między elektrodami oraz dla różnych wartości indukcyjności.



Rys. 17.12. Układ pomiarowy do zdejmowania przebiegu prądu i napięcia łuku w funkcji czasu

Zdejmowanie charakterystyki dynamicznej łuku elektrycznego. Połączyć układ pomiarowy według rysunku 17.13. Na oscyloskopie należy zaobserwować przebieg $u_\tau = f(i_\tau)$ dla różnych wartości rezystancji R oraz dwóch wartości L ($L = 0, L > 0$) przy elektrodach rozwartych na odległość 4 mm.



Rys. 17.13. Układ pomiarowy do badania charakterystyk dynamicznych łuku

17.4. Opracowanie wyników badań

Opierając się na otrzymanych wynikach pomiarów narysować charakterystyki łuku elektrycznego. Przeanalizować wpływ rezystancji i reaktancji obwodu oraz odległości międzystykowej na parametry łuku. Podać warunki palenia się i gaszenia łuku elektrycznego.

Ćwiczenie 18

BADANIE WYŁĄCZNIKÓW INSTALACYJNYCH I RÓŻNICOWOPRĄDOWYCH

18.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania oraz wybranymi parametrami wyłączników instalacyjnych i różnicowoprądowych. Zakres ćwiczenia obejmuje wyznaczenie charakterystyki czasowo-prądowej wybranych wyłączników instalacyjnych, sprawdzenie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w układach sieci TN-C, TN-C-S i TT z wyłącznikami różnicowoprądowymi oraz badanie współpracy różnych typów wyłączników różnicowoprądowych zabezpieczających urządzenia zasilane z układów prostownikowych.

18.2. Wiadomości podstawowe¹

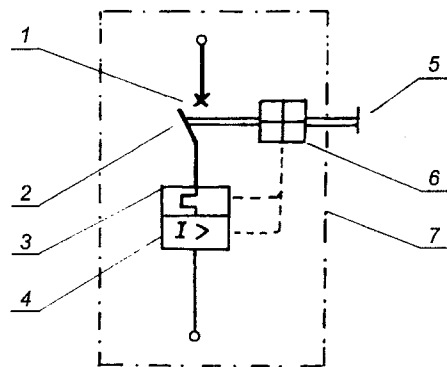
18.2.1. Wyłączniki instalacyjne

Wyłączniki instalacyjne są urządzeniami do zabezpieczenia przed skutkami przeciążeń i zwarc w instalacji oraz urządzeniach domowych i podobnych. Napięcie znamionowe tych wyłączników nie przekracza 440 V, prąd znamionowy 125 A, a zwarciodowa zdolność wyłączalna 25 kA.

Wyłączniki instalacyjne wytwarzane są najczęściej jako płaskie, jednobiegowe, dające się łączyć w konstrukcje wielobiegowe. Wyłączniki wyposażone są w wyzwalacz termiczny (bimetalowy), powodujący otwarcie wyłącznika z pewną zwłoką czasową zależną od wartości prądu, oraz wyzwalacz zwarciodowy

¹ Należy zapoznać się również z materiałem zawartym w załącznikach 1 i 2.

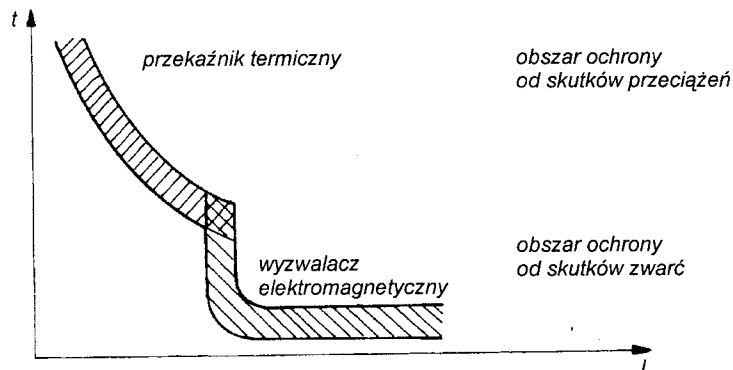
(elektromagnetyczny) działający bezzwłocznie. Na rysunku 18.1 przedstawiono układ połączeń podstawowych elementów składowych wyłącznika samoczynnego.



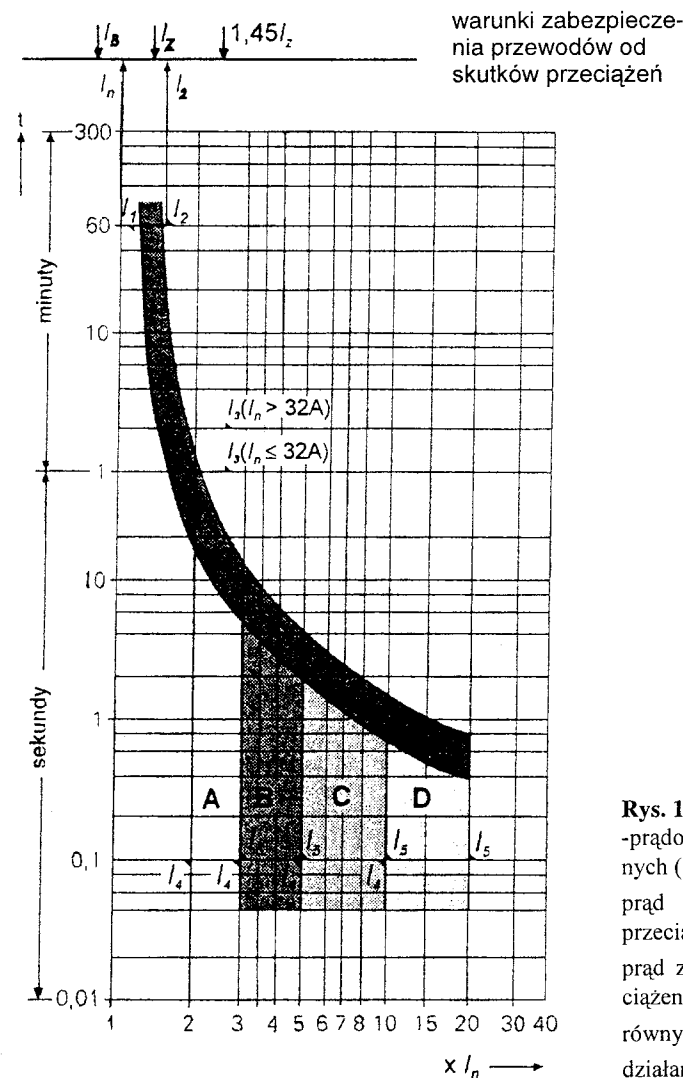
Rys. 18.1. Podstawowe elementy składowe wyłącznika instalacyjnego: 1–styk stały, 2–styk ruchomy, 3–wyzwalacz termobimetalowy, 4–wyzwalacz nadprądowy elektromagnetyczny, 5–dźwignia napędu; 6–zamek, 7–obudowa

Wyposażenie wyłącznika w człon przeciążeniowy (przełącznik termobimetalowy) i zwarciový (wyzwalacz elektromagnetyczny) kształtuje jego charakterystykę czasowo-prądową. Charakterystyka ta składa się z dwóch podstawowych charakterystyk: przeciążeniowej i zwarciovej. Przecięcie się tych charakterystyk wyznacza obszar działania obu elementów zabezpieczających wyłącznika (rys. 18.2).

W zależności od wartości prądów zadziałania wyzwalaczy zwarciových obecnie są wytwarzane wyłączniki o charakterystykach czasowo-prądowych typu A, B, C, D (rys. 18.3).



Rys. 18.2. Obszar przeciążeniowy i zwarciový charakterystyki czasowo-prądowej wyłącznika instalacyjnego



	A	B	C	D
$I_1 (t \geq 1h)$	$1,13 \times I_n$	$1,13 \times I_n$	$1,13 \times I_n$	$1,13 \times I_n$
$I_2 (t < 1h)$	$1,45 \times I_n$	$1,45 \times I_n$	$1,45 \times I_n$	$1,45 \times I_n$
$I_4 (t \geq 0,1s)$	$2 \times I_n$	$3 \times I_n$	$5 \times I_n$	$10 \times I_n$
$I_5 (t < 0,1s)$	$3 \times I_n$	$5 \times I_n$	$10 \times I_n$	$20 \times I_n$

Rys. 18.3. Charakterystyki czasowo-prądowe wyłączników instalacyjnych (wyłączniki 5S): I_1 – umowny prąd niezadziałania przełącznika przeciążeniowego, I_2 – umowny prąd zadziałania przełącznika przeciążeniowego, I_3 – prąd zadziałania równy $2,55 I_n$, I_4 – prąd niezadziałania wyzwalacza elektromagnetycznego, I_5 – prąd zadziałania wyzwalacza elektromagnetycznego, I_n – prąd znamionowy wyłącznika, I_B – prąd obliczeniowy lub prąd znamionowy odbiornika, I_z – obciążalność prądowa długotrwała zabezpieczonych przewodów

Zastosowanie wyłączników instalacyjnych o podanych charakterystykach jest następujące:

Charakterystyka A – zastosowanie przede wszystkim w instalacjach (w tym sterowniczych) przy znacznych długościach przewodów oraz do ograniczonej ochrony półprzewodników.

Charakterystyka B – zastosowanie do ochrony przewodów i kabli oraz do ochrony przeciwporażeniowej.

Charakterystyka C – zastosowanie do ochrony kabli i przewodów oraz odbiorników z większymi prądami rozruchowymi (silniki, lampy).

Charakterystyka D – zastosowanie do ochrony urządzeń wywołujących silne udary prądowe (transformatory małej mocy, zawory elektromagnetyczne).

18.2.2. Wyłączniki różnicowoprądowe

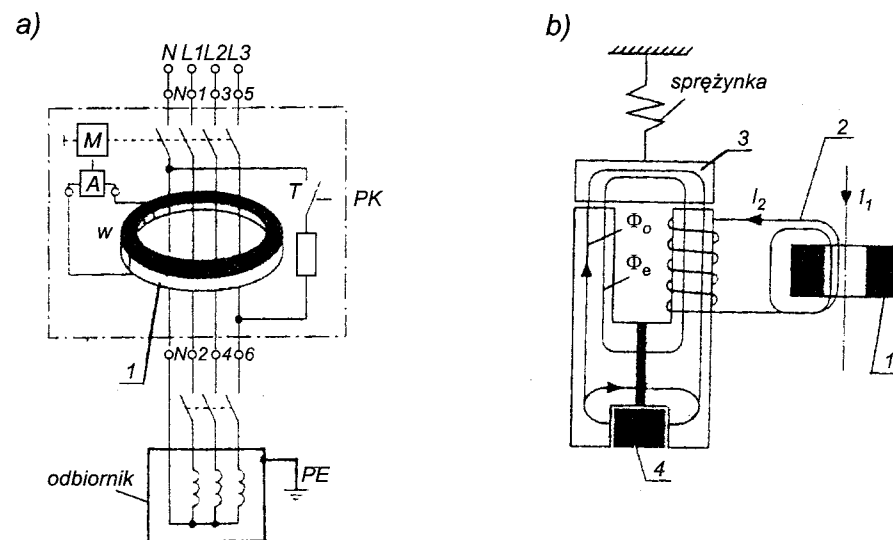
Wyłącznik różnicowoprądowy składa się z trzech podstawowych elementów (rys. 18.4):

- 1) Przekładnik sumujący (Ferrantiego) do pomiaru w sposób pośredni prądu różnicowego,
- 2) Przekątnik przetwarzający elektryczne wielkości pomiarowe w mechaniczne odryglowanie,
- 3) Zamek wyłącznika ze stykami.

Przekładnik sumujący obejmuje wszystkie przewody (L1, L2, L3, N), przez które przepływają prądy.

W warunkach normalnej pracy suma geometryczna prądów przepływających przewodami: fazowymi i neutralnym jest równa zero. W rdzeniu magnetycznym przekładnika Ferrantiego nie występuje żaden strumień magnetyczny. Jeżeli wystąpi uszkodzenie izolacji odbiornika i przewodem PE popłynie prąd (prąd różnicowy I_{Δ}), to w obwodzie magnetycznym przekładnika Ferrantiego pojawi się strumień indukujący napięcie na zaciskach uzwojenia wtórnego zasilającego przekątnik.

W warunkach normalnej pracy zwora przekątnika jest przytrzymywana przez magnes trwały w pozycji umożliwiającej załączenie wyłącznika. Przy przepływie prądu różnicowego na strumień magnetyczny Φ_o od magnesu trwałego nakłada się strumień Φ_e pochodzący od prądu różnicowego i droga przepływu strumienia magnetycznego magnesu trwałego zostaje zakłócona, co prowadzi do odpadnięcia zwory przekątnika różnicowoprądowego.



Rys. 18.4. Wyłącznik różnicowoprądowy o działaniu bezpośrednim: a) sposób instalowania, b) zasada działania przekątnika; 1–przekładnik Ferrantiego, 2–uzwojenie wtórne, 3–zwora, 4–magnes trwały, A – przekątnik, M – zamek wyłącznika, PK – przycisk kontrolny

Wyłączniki różnicowoprądowe budowane są na następujące wartości znamionowych prądów różnicowych wyzwalających $I_{\Delta n}$: 10, 30, 100, 300, 500, 1000 mA. Wyłączniki o prądzie wyzwalającym 10 i 30 mA określane są jako wyskokoczułe. Wyłączniki te stosuje się do ochrony przed dotykiem pośrednim (ochrony dodatkowej). Wyłączniki o $I_{\Delta n} \leq 30$ mA mogą stanowić również ochronę uzupełniającą przed skutkami niezamierzonego dotyku do części czynnych.

Napięcie znamionowe wyłączników różnicowoprądowych wynosi:

- dla wyłączników jednofazowych dwubiegunowych – 230 V, przy częstotliwości 40÷60 Hz,
- dla wyłączników trójfazowych czterobiegunowych 230/400 V, przy częstotliwości 40÷60 Hz.

Prądy znamionowe I_n (prądy w przewodach fazowych L1, L2, L3), zgodne z wartościami prądów zalecanymi dla wyłączników samoczynnych, wynoszą 6, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 63 A. Niektóre firmy budują wyłączniki różnicowoprądowe na prąd znamionowy 100, 125, 160 A i 224 A.

W większości przypadków w uszkodzonym obwodzie pojawia się prąd różnicowy mający bardzo duże wartości. Przez wyłącznik przepływa wówczas prąd

o charakterze zwarciovym. Wyłącznik nie zawsze może sprostać wówczas wymaganiom w zakresie jego zdolności łączeniowej. Nieodzwonne jest więc stosowanie dobezpieczenia wyłącznika różnicowoprądowego za pomocą bezpieczników topikowych. Największe wartości prądu znamionowego bezpieczników podaje z reguły wytwórca wyłączników (tab.18.1).

Tabela 18.1

Największe wartości prądu znamionowego bezpieczników klasy gL oraz gG instalowanych z wyłącznikami różnicowoprądowymi firmy Siemens

Prąd znamionowy wyłączników [A]	16	25	40	63	125	160	224
Zdolność wyłączalna wyłączników [kA]	1,5			2,0		4,0	
Największy prąd znamionowy bezpieczników [A] (wyłączniki do 380 V)	63	80	100	125	160	224	

Rozpowszechnienie się różnych urządzeń elektrycznych zasilanych z układów prostownikowych (z zastosowaniem elektronicznych i energoelektronicznych elementów półprzewodnikowych) powoduje występowanie prądów różnych od sinusoidalnych, zarówno w warunkach pracy normalnej jak i w przypadku uszkodzeń. Powstało zapotrzebowanie na wyłączniki różnicowoprądowe reagujące na przepływ prądu różnicowego przemiennego oraz stałego pulsującego.

Obecnie produkowane są następujące rodzaje wyłączników różnicowoprądowych:

- AC o oznaczeniu stosowane przy prądach różnicowych przemiennych,
- A o oznaczeniu stosowane przy prądach różnicowych sinusoidalnych i stałych pulsujących
- B o oznaczeniu stosowane przy prądach różnicowych sinusoidalnych oraz wyprostowanych pulsujących ze składową stałą.

Tabela 18.2

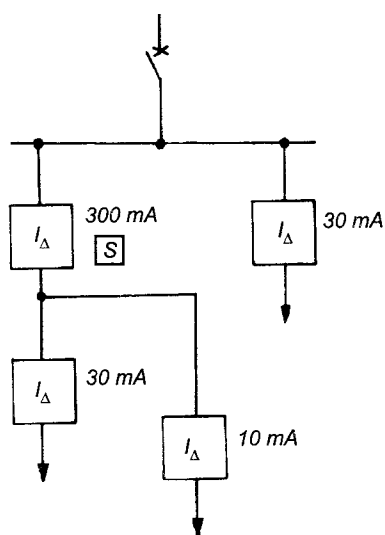
Schematy układów prostownikowych, przebiegi prądów różnicowych i_{Δ} oraz zakresy prądów wyzwalających wyłączników różnicowoprądowych

Schemat obwodu i miejsce uszkodzenia	Rodzaj prądu i_{Δ}	Kształt prądu i_{Δ}	Prąd wyzwalający $\times I_{\Delta n}^{1)}$
	przemienny sinusoidalny		0,5÷1,0
	pulsujący wyprostowany jednopółkowo: kąt wysterowania $\alpha = 0^\circ$		0,35÷1,4
	pulsujący wyprostowany jednopółkowo		0,35÷1,4
	pulsujący: – kąt wysterowania 90° – kąt wysterowania 135°		0,25÷1,4 0,11÷1,4
	wyprostowany jednopółkowo ze składową stałą do 6 mA		$1,4I_{\Delta n} + 6 \text{ mA}$
	prąd stały o niewielkiej zawartości składowej okresowej		0,5÷2,0 ²⁾
	prąd wyprostowany wygładzony o umiarkowanej zawartości składowej okresowej		wyłącznik może nie działać: nie należy stosować w instalacjach domowych

¹⁾ $I_{\Delta n}$ – prąd różnicowy znamionowy,

²⁾ Dotyczy wyłączników różnicowoprądowych przeznaczonych do przerywania prądów różnicowych stałych w instalacjach elektrycznych przemysłowych.

W związku z dużą różnorodnością kształtu prądu różnicowego występującego w instalacjach bardzo ważne jest, aby przy instalowaniu wyłącznika różnicowoprądowego uwzględnić budowę urządzeń odbiorczych oraz stosowanie wszelkich urządzeń o charakterze przetwornikowym. Działanie przekaźnika różnicowoprądowego przy przepływie prądów różnicowych pulsujących zależy między innymi od wartości i kształtu prądu, jego tętnienia, układu zasilania i sposobu sterowania (kąta wysterowania) oraz miejsca uszkodzenia w obwodzie prądu wyprostowanego. W tabeli 18.2 podano przebiegi prądów zwarć jednofazowych doziemnych oraz zakresy prądów wyzwalających wyłączniki różnicowoprądowe w zależności od układu prostownikowego i miejsca uszkodzenia.



Rys. 18.5. Zasada selektywności działania wyłączników różnicowoprądowych (zastosowanie wyłącznika o działaniu ze zwłoką czasową wyzwalań oraz wyłączników o różnych wartościach znamionowego prądu różnicowego)

W wyłącznikach różnicowoprądowych nie ma możliwości regulacji czasu działania. Oznacza to, że nie można uzyskać selektywnego wyłączenia w układzie szeregowym wyłączników, jeżeli wyłączniki te stosuje się zarówno w obwodach odbiorczych, jak i w liniach zasilających. Aby osiągnąć selektywność w takim układzie połączeń wyłączników, stosuje się w liniach zasilających wyłączniki różnicowoprądowe selektywne, oznaczone dodatkowo symbolem *S* (rys. 18.5).

18.3. Program ćwiczenia

Badanie wyłączników instalacyjnych

Wyznaczyć charakterystykę czasowo-prądową wyłącznika instalacyjnego. Badanie należy wykonać w układzie przedstawionym na rysunku 18.6.

Przed rozpoczęciem pomiarów należy

wykonać następujące czynności:

- sprowadzić autotransformator w położenie zerowe,
- połączyć autotransformator z odpowiednim przewodem fazowym,
- zewrzeć zaciski po stronie wtórnej transformatora prądowego (*TP*),
- załączyć styczniki *SG* i *S1*,

- ustawić za pomocą autotransformatora prąd równy, np. 10 A (prąd ten nie powinien powodować zadziałania urządzenia przetężeniowego), oznaczyć ten prąd jako I_1 ,
- wyłączyć stycznik *S1*,
- podłączyć do uzwojenia wtórnego transformatora, po wcześniejszym jego rozwarciu, badane urządzenie przetężeniowe,
- załączyć stycznik *S1*,
- zapisać wartość, która pojawi się na amperomierzu, oznaczyć ten prąd jako I_2 ,
- obliczyć współczynnik k ze wzoru:

$$k = \frac{I_2}{I_1}$$

Aby uzyskać rzeczywiste wartości prądów przy wyznaczaniu charakterystyki czasowo-prądowej, należy wszystkie wartości prądów nastawionych pomnożyć przez współczynnik k .

W celu wyznaczenia charakterystyki czasowo-prądowej badanego urządzenia przetężeniowego należy wykonać następujące czynności:

- sprowadzić autotransformator w położenie zerowe,
- połączyć autotransformator z odpowiednim przewodem fazowym,
- zewrzeć zaciski po stronie wtórnej transformatora prądowego (zaciski o obciążalności 100 A),
- załączyć styczniki *SG* i *S1* (powinny zaświecić się diody *LED*),
- ustawić żadaną wartość prądu zadziałania urządzenia przetężeniowego poprzez zmianę napięcia na wyjściu autotransformatora,
- wyłączyć stycznik *S1*,
- rozewrzeć obwód wtórny transformatora prądowego,
- do zacisku za przekładnikiem prądowym należy podłączyć poprzez amperomierz (zakres co najmniej 1 A) przekaźnik prądowy,
- załączyć stycznik *S1*,
- nie zmieniając ustawienia autotransformatora za pomocą potencjometru *P1* ustawić wartość prądu w obwodzie przekaźnika równą 1 A,
- wyłączyć stycznik *S1*,
- podłączyć badany wyłącznik (wkładkę bezpiecznikową topikową, drut topikowy),
- załączyć stycznik *S1* i zaobserwować zachowanie się badanego urządzenia przetężeniowego.

W sieci TN – C układ złożony z potencjometru $P2$, rezystora $R1$ i miliamperomierza należy włączyć pomiędzy przewód fazowy za wyłącznikiem badanym a przewód PEN (ochronno-neutralny) przed wyłącznikiem badanym.

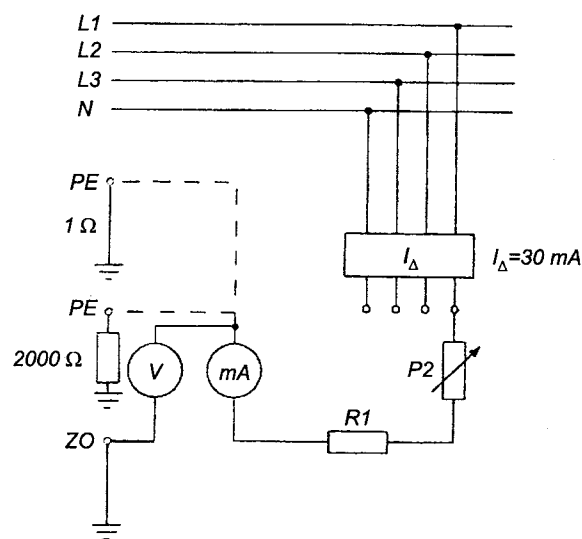
Badanie działania wyłącznika różnicowoprądowego w sieci TT. Badania należy przeprowadzić w układzie jak na rysunku 18.8.

Wyłącznik działa poprawnie w sieci TT, jeżeli:

- prąd wyzwalający jest mniejszy lub równy $I_{\Delta n}$,
- w czasie przepływu $I_{\Delta n}$ napięcie na częściach przewodzących dostępnych jest mniejsze lub równe 50 V.

Badanie przeprowadza się zmieniając wartość rezystancji potencjometru $P2$ od wartości maksymalnej do minimalnej i obserwując czy wyłącznik zadziała przy prądzie nie większym 30 mA. Dla maksymalnej wartości prądu nie powodującego zadziałania wyłącznika należy zmierzyć napięcie w przypadku gdy:

- rezystancja uziemienia uziomu wynosi 1 Ω ,
- rezystancja uziemienia uziomu wynosi 2000 Ω .



Rys. 18.8. Układ do badania wyłącznika różnicowoprądowego w sieci TT

Obliczyć wartość rzeczywistą napięcia w czasie przepływu prądu $I_{\Delta n}$ z zależności:

$$U_{rz} = U_{zm} \frac{I_{\Delta n}}{I_{\Delta}} \quad (18.1)$$

w której:

U_{zm} – zmierzona wartość napięcia,

$I_{\Delta n}$ – znamionowy prąd różnicowy wyłącznika,

I_{Δ} – prąd różnicowy, przy którym zostało zmierzone napięcie U_{zm} .

Badanie współpracy różnych typów wyłączników różnicowoprądowych z układami energoelektronicznymi. Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy zapoznać się z wyłącznikami znajdującymi się na stanowisku. W celu wykonania ćwiczenia należy połączyć układy przedstawione na rysunkach 18.9, 18.10, 18.11.

Zakres ćwiczenia obejmuje:

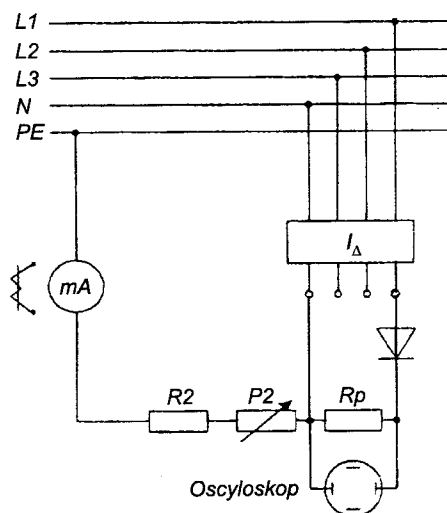
- sprawdzenie działania wyłączników ochronnych różnicowoprądowych z wybranym układem energoelektronicznym,
- wyznaczenie prądów wyzwalających,
- obserwacje przebiegów chwilowych prądów różnicowych na oscyloskopie.

Zamiast miliamperomierza elektromagnetycznego w ćwiczeniu można wykorzystać miernik uniwersalny:

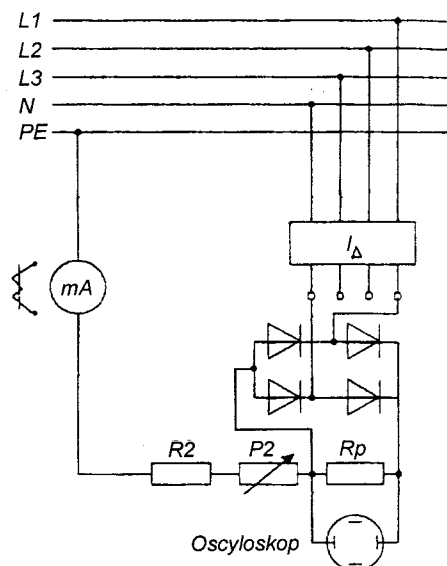
- przełączyć miernik uniwersalny na pomiar prądów przemiennych i zmierzyć wartość prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego ($I_{\Delta 1}$),
- przełączyć miernik uniwersalny na pomiar prądów stałych i zmierzyć wartość prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego ($I_{\Delta 2}$),

- obliczyć wartość prądu zadziałania wyłącznika różnicowoprądowego

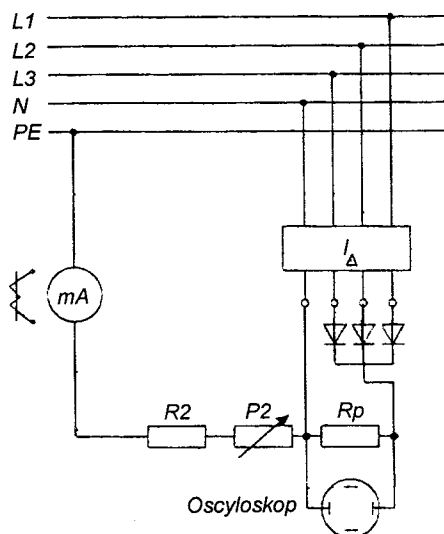
$$I = \sqrt{(I_{\Delta 1})^2 + (I_{\Delta 2})^2}.$$



Rys. 18.9. Układ do badania zachowania się wyłączników różnicowoprądowych z prostownikiem jednopółkowym w obwodzie głównym



Rys. 18.10. Układ do badania zachowania wyłączników różnicowoprądowych z prostownikiem mostkowym w obwodzie głównym



Rys. 18.11. Układ do badania zachowania wyłączników różnicowoprądowych z prostownikiem trójpulsowym w obwodzie głównym

18.4. Opracowanie wyników badań

Wyniki pomiarów zestawić w tabelach. Na podstawie otrzymanych rezultatów badań i pomiarów dokonać oceny badanych łączników. Sformułować wnioski dotyczące ich stosowania.

Literatura

1. **Au A., Ciok Z.:** *Aparaty elektryczne. Cz.II.* Warszawa, Wyd. Politechniki Warszawskiej 1976.
2. **Au A., Maksymiuk J., Pochanke Z.:** *Podstawy obliczeń aparatów elektroenergetycznych.* Warszawa, WNT 1982.
3. **Au A., Maksymiuk J.:** *Budowa i projektowanie aparatów elektrycznych.* Warszawa, Wyd. Politechniki Warszawskiej 1982.
4. **Beldowski T.:** *Stacje elektroenergetyczne.* Warszawa, WNT 1980.
5. **Beldowski T., Markiewicz H.:** *Stacje i urządzenia elektroenergetyczne.* Warszawa, WNT 1995.
6. **Ciok Z.:** *Procesy łączeniowe w układach elektroenergetycznych.* Warszawa, WNT 1983.
7. **Danielski L., Osiński S.:** *Środki ochrony przeciwporażeniowej i zasady ich doboru (wyboru).* XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Bezpieczeństwo Elektryczne T. II. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1997.
8. **Danielski L., Osiński S.:** *Badania skuteczności ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieciach TN i TT z zabezpieczeniami przetężeniowymi.* XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Bezpieczeństwo Elektryczne T. II. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1997.
9. **Danielski L., Osiński S.:** *Badania instalacji z wyłącznikami różnicowoprądowymi.* XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Bezpieczeństwo Elektryczne T.II. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1997.
10. **Dzierzbicki S.:** *Aparaty elektroenergetyczne.* Warszawa, WNT 1980.
11. **Jabłoński W.:** *Działanie prądu elektrycznego na organizm ludzki.* Gospodarka Paliwami i Energią nr 6, 1986.
12. **Jabłoński W.:** *Zadania, ogólne zasady działania i podstawy wymiarowania ochrony przeciwporażeniowej.* XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Bezpieczeństwo Elektryczne T.II. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1997.
13. **Kamińska-Pranke A., Niewiedzial R.:** *Urządzenia i stacje elektroenergetyczne. Przewodnik do ćwiczeń laboratoryjnych.* Poznań, Wyd. Politechniki Poznańskiej 1986.
14. **Kiefer G.:** *VDE 0100 und Praxis.* VDE Verlag. Berlin-Offenbach 1990.
15. **Lipski T.:** *Bezpieczniki niskonapięciowe.* Warszawa, WNT 1968.
16. **Maksymiuk J.:** *Aparaty elektryczne.* Warszawa, WNT 1995.
17. **Markiewicz H.:** *Aparaty elektryczne.* Warszawa, PWN 1989.
18. **Markiewicz H.:** *Badania skuteczności działania ochrony przeciwporażeniowej z urządzeniami różnicowoprądowymi.* X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektrycznych. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1995.
19. **Markiewicz H.:** *Niektóre nowe zastosowania i wyniki badań urządzeń różnicowoprądowych.* X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektrycznych. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1995.
20. **Markiewicz H., Wołkowiński K.:** *Urządzenia elektroenergetyczne.* Wyd. IV. Warszawa, WNT 1985.
21. **Markiewicz H.:** *Instalacje elektryczne.* Warszawa, WNT 1996.
22. **Masny J.:** *Podstawy techniki ochrony przeciwporażeniowej. Cz. I.* Gospodarka Paliwami i Energią nr 8, 1986.
23. **Masny J.:** *Warunki badań skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.* XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Bezpieczeństwo Elektryczne T. II. Wrocław, Politechnika Wrocławska 1997.
24. **Masny J., Teresiak Z.:** *Przemiany energii elektrycznej.* Warszawa, WNT 1985.
25. **Rudolph W.:** *Safety of Electrical Installations up to 1000 Volts.* VDE-Verlag Gm BH Berlin-Offenbach, 1990.

26. **Skopiec J., Wróblewski Z.:** *Laboratorium urządzeń elektrycznych*. Wrocław Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej 1979.
27. **Wiszniewski A.:** *Przekładniki w elektroenergetyce*. Warszawa, WNT 1992.
28. **Wołkowiński K.:** *Instalacje elektroenergetyczne. Zagadnienia wybrane*. Wyd. IV. Warszawa, WNT 1972.
29. **Wołkowiński K.:** *Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych*. Wyd. IV Warszawa, WNT 1972.
30. **Wróblewski Z.:** *Teoria aparatów elektrycznych. Ćwiczenia audytoryjne i laboratoryjne*. Wrocław, Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej 1979.
31. **PN-90/E-05025** *Obliczanie skutków prądów zwarciovych*.
32. **PN-91/E-05009/01** *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Zakre. przedmiot i wymagania podstawowe*.
33. **PN-91/E-05009/02** *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Terminologia*.
34. **PN-91/E-05009/03** *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ustalenie ogólnych charakterystyk*.
35. **PN-92/E-05009/41** *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona zapewniająca bezpieczeństwo. Ochrona przeciwporażeniowa*.
36. **PN-93/E-05009/61** *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Sprawdzanie. Sprawdzanie odbiorcze*.
37. **PN-90/E-06150/10** *Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa. Przepisy ogólne*.
38. **PN-93/E-06150/20** *Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa. Włłączniki*.
39. **PN-93/E-06150/41** *Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa. Styczniki i rozruszniki do silników*.
40. **PN-91/E-06160/10** *Bezpieczniki topikowe niskonapięciowe. Ogólne wymagania i badania*.
41. **PN-83/E-08200/01** *Elektryczne przyrządy powszechnego użytku. Bezpieczeństwo użytkowania. Ogólne wymagania i badania*.
42. **PN-90/E-93002** *Włłączniki nadprądowe do instalacji domowych i podobnych*.
43. **PN-90/E-93003** *Włłączniki samoczynne do zabezpieczania urządzeń elektrycznych*.
44. **PN-87/E-93100/01** *Sprzęt elektroinstalacyjny. Instalacyjne bezpieczniki topikowe gwintowe na znamionowe napięcie do 1000 V i prądy znamionowe do 200 A. Postanowienia ogólne*.
45. **PN-87/E-93100/05** *Sprzęt elektroinstalacyjny. Instalacyjne bezpieczniki topikowe gwintowe na znamionowe napięcie do 1000V i prądy znamionowe do 200 A. Wkładki topikowe. Wymiary i charakterystyki czasowo-prądowe*.
46. **PN-IEC 185+A1:1994** *Przekładniki prądowe*.
47. **PN-IEC 186+A1:1994** *Przekładniki napięciowe*.
48. **PN-IEC 1008-1+A#1997** *Włłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego. Arkusz 1: Postanowienia ogólne*.
49. *Przepisy budowy urządzeń elektroenergetycznych*. Instytut Energetyki. Warszawa, Wydawnictwa Przemysłowe WEMA 1997.
50. *Instrukcja obsługi włłączników zwarciovych niskiego napięcia typu DS*. Fabryka Aparatów Elektrycznych „Apena”.
51. *Instrukcja obsługi włłączników zwarciovych niskiego napięcia typu APU*. Fabryka Aparatów Elektrycznych „Apena”.
52. **FAEL**. *Włłączniki instalacyjne serii SI90*. Katalog – wrzesień 1997.
53. **SIEMENS**. *Urządzenia instalacyjne zabezpieczające i sterownicze*. Katalog 1/1/95.

OKREŚLENIA

STOSOWANE W OCHRONIE PRZECIWPORAŻENIOWEJ

1. *Część czynna* – żyła przewodu lub inna część przewodząca prąd elektryczny, znajdująca się w czasie normalnej pracy pod napięciem, w tym także przewód neutralny N, z wyjątkiem przewodu ochronno-neutralnego PEN.
2. *Części jednocześnie dostępne* – części czynne, części przewodzące dostępne, części przewodzące obce, przewody ochronne, wyrównawcze i uziomy, które znajdują się w zasięgu ręki.
3. *Część przewodząca dostępna* – przedmiot przewodzący lub część przewodząca urządzenia, znajdujące się w zasięgu ręki, oddzielone od części czynnych jedynie izolacją roboczą, mogące znaleźć się w warunkach zakłóceń pod napięciem.
4. *Część przewodząca obca* – przedmiot przewodzący lub część przewodząca, nie będąca częścią urządzenia elektrycznego, mogące znaleźć się pod napięciem.
5. *Dotyk bezpośredni* – dotknięcie przez człowieka lub zwierzę części czynnych.
6. *Dotyk pośredni* – dotknięcie przez człowieka lub zwierzę części przewodzących dostępnych, które znalazły się pod napięciem w wyniku uszkodzenia izolacji.
7. *Miejsce dostępne* – miejsce, na które można wejść bez korzystania z przedmiotów pomocniczych, jak np. drabiny, słupolazy.
8. *Napięcie dotykowe* – napięcie, które występuje w warunkach normalnych lub może pojawić się w warunkach zakłóceń pomiędzy dwoma częściami jednocześnie dostępnymi, nie należącymi do obwodu elektrycznego.
9. *Ochrona przeciwporażeniowa podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)* – ochrona zapobiegająca niebezpiecznym skutkom dotknięcia części czynnych.
10. *Ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa (ochrona przed dotykiem pośrednim)* – ochrona zapobiegająca niebezpiecznym skutkom dotknięcia części przewodzących dostępnych w wypadku pojawienia się na nich napięcia w warunkach zakłóceń.
11. *Przewód neutralny N* – przewód roboczy wyprowadzony z neutralnego punktu układu sieciowego.
12. *Przewód ochronny PE* – przewód stanowiący element zastosowanego środka ochrony przeciwporażeniowej, do którego przyłącza się części przewodzące dostępne i części przewodzące obce w celu objęcia ich ochroną przeciwporażeniową dodatkową.
13. *Przewód ochronno-neutralny PEN* – przewód spełniający jednocześnie funkcję przewodu ochronnego PE i przewodu neutralnego N.
14. *Przewody skrajne* – przewody fazowe przy prądzie przemiennym oraz przewody dodatni i ujemny przy prądzie stałym.
15. *Przewód uziomowy* – przewód łączący uziom z przewodem ochronnym PE lub zaciskiem probierczym uziomowym.
16. *Stopień ochrony urządzeń IPX, IP4X* – stopnie ochrony urządzeń dobrane według PN-92/E-08106 Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy (kod IP).
17. *Zasięg ręki* – dostępny wokół człowieka obszar w kształcie walca, o średnicy 2,5 m, rozciągający się 2,5 m ponad poziomem ustawienia stóp i 1,25 m poniżej tego poziomu.

UKŁADY SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH NISKIEGO NAPIĘCIA

Sieci zasilające niskiego napięcia mogą być wykonane jako uziemione lub izolowane względem ziemi (rys. Z.2.1) Sposób połączeń sieci z ziemią przyjęto oznaczać za pomocą 2 + 4 literowego kodu, przy czym:

- pierwsza litera (*T* lub *I*) określa związek między układem sieci a ziemią,
- druga litera (*N* lub *T*) określa związek między częściami przewodzącymi, nie pozostającymi w warunkach normalnej pracy pod napięciem, a ziemią,
- trzecia i czwarta litera (*C* lub/ oraz *S*) określają układ przewodów neutralnych i ochronnych.

Oznaczenia układów (rys. Z.2.1) pochodzą od słów francuskich lub angielskich:

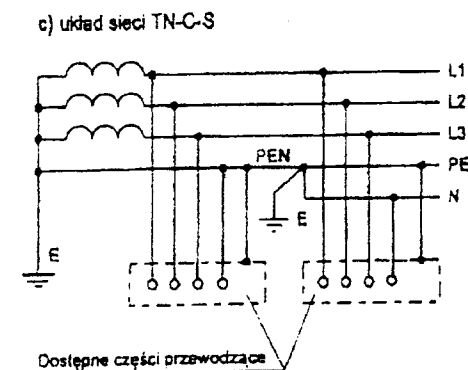
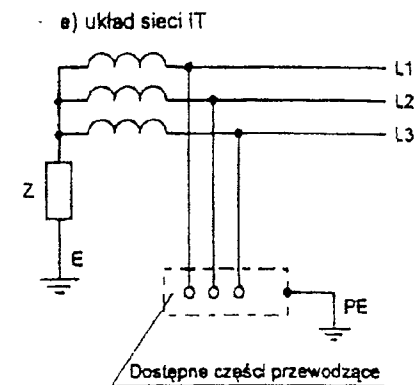
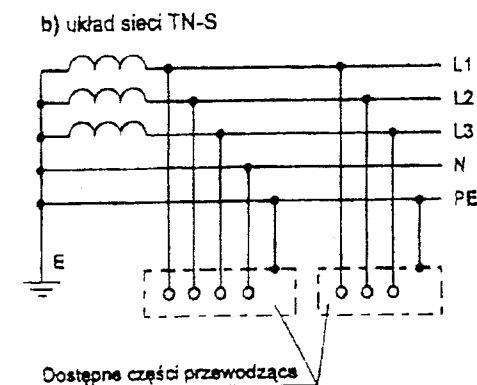
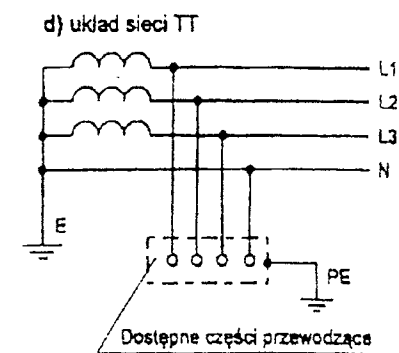
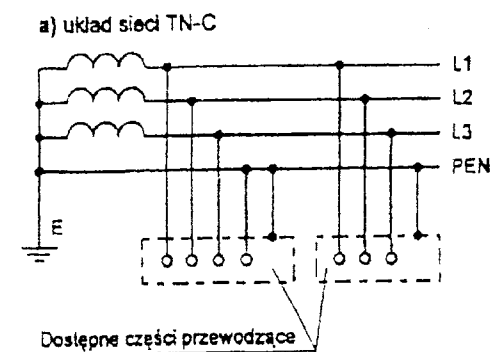
T – terre – uziemienie punktu neutralnego (litera na pierwszym miejscu) lub uziemienie części podlegających ochronie (litera na drugim miejscu oznaczenia);

N – neutre, nautral – przewód połączony z uziemionym punktem neutralnym układu;

S – separé, separated – oddzielenie przewodu ochronnego od przewodu neutralnego;

C – combiné, combined – połączenie funkcji przewodu neutralnego i ochronnego;

I – isolement, insulation – izolowanie od ziemi wszystkich przewodów roboczych układu.



Rys. Z.2.1. Układy sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia L1, L2, L3 – przewody fazowe prądu przemiennego; N – przewód neutralny; PE – przewód ochronny; PEN – przewód ochronno-neutralny; E – przewód uziemiający; Z – impedancja

SKUTKI DZIAŁANIA PRĄDU ELEKTRYCZNEGO NA ORGANIZM LUDZKI

Praca przy urządzeniach elektrycznych może wywołać niebezpieczne dla ludzi skutki w wyniku działania pola elektromagnetycznego, pośredniego działania prądów zakłóceń oraz bezpośredniego przepływu prądu przez organizm ludzki.

Działanie pola elektromagnetycznego jest zazwyczaj przedmiotem oddzielnych badań i przepisów.

Działanie pośrednie prądu występuje na skutek zwarcia w sieci elektrycznej lub podczas przerywania obwodu elektrycznego, przy czym człowiek nie dotyka wtedy punktów o różnym potencjale. Zagrożenie może w tych przypadkach powstać na skutek:

- ciepłego działania na człowieka łuku elektrycznego lub nagranych podczas zwarcia części; działanie to może występować dość długo po wyłączeniu obwodu i wywołać oparzenia oraz dalsze skutki (opisane później),
- działania promieniowania widzialnego; w wyniku dużej jaskrawości łuku elektrycznego należy liczyć się z uszkodzeniem wzroku lub wystąpieniem szoku (przestrachem), a nawet uszkodzeniem ciała ze skutkiem śmiertelnym, np. w wyniku upadku z wysokości,
- działania efektów akustycznych mogących towarzyszyć zwarcu; działanie to może wywoływać uszkodzenie narządów słuchu lub szok i jego wtórne skutki.

Skutki pośredniego działania prądu rzadko okazują się bardzo groźne dla człowieka (śmiertelne) i aby takim wypadkom zapobiegać, stosuje się głównie odpowiednie środki podstawowej ochrony przeciwporażeniowej.

Działanie bezpośrednie prądu powstające przy zetknięciu się człowieka z co najmniej dwoma punktami mającymi różne potencjały, często wywołują skutki groźne dla zdrowia, a nawet życia ludzkiego. Dlatego też głównie skutki bezpośredniego działania prądu na ludzi są rozważane przy ocenie zagrożenia porażeniowego.

Skutki bezpośredniego działania prądu (zwanego prądem rażeniowym) na organizm ludzi można podzielić na dwie grupy:

- skutki wywołane zmianą fizjologii organu lub całego organizmu,
- skutki wywołane efektem cieplnym (zdefiniowanym przez prawo Joule'a).

Zmiany fizjologii organu lub całego organizmu wywołane prądem rażeniowym charakteryzują się, jak wiele innych zjawisk fizjologicznych, pewnymi cechami:

- mają one próg, powyżej którego zmiany te występują,
- są często, ale nie zawsze odwracalne,
- są zależne od parametrów prądu rażeniowego (rodzaju, częstotliwości, wartości, kształtu, czasu przepływu),
- są zależne od rodzaju kontaktu organizmu z obwodem elektrycznym (wielkości elektrod, miejsca przyłożenia tych elektrod do organizmu rażonego) oraz cech tego organizmu (wilgotności naskórki, wieku, płci, stanu fizjologicznego, stanu naskórki oraz cech indywidualnych organizmu).

Najczęściej występującymi i rozważanymi skutkami należącymi do wcześniej wymienionej pierwszej grupy skutków bezpośredniego działania prądu rażeniowego są:

- zahamowanie działania organu, prowadzące jedynie do ostrych, przenikliwych, ale przejściowych bólów; w języku medycznym zahamowanie tego rodzaju nazywane jest **szokiem elektrycznym**,
- wstrzymanie oddechu mogące prowadzić do zatrucia organizmu dwutlenkiem węgla,
- wstrzymanie obiegu krwi, a w konsekwencji niedotlenienie, między innymi mózgu, i zapaść.

Groźne dla zdrowia i życia ludzkiego mogą okazać się: wstrzymanie oddechu i obiegu krwi; wymagają one przeto choćby krótkiego wyjaśnienia.

Wstrzymanie oddechu powstaje przy przepływie prądu rażeniowego przez klatkę piersiową lub przez głowę do korpusu człowieka.

W pierwszym przypadku prąd rażeniowy o odpowiedniej wartości powoduje skurcz międzyżebrowych mięśni oddechowych, mięśni piersiowych lub mięśni przeponowych. Przedłużający się skurcz wyżej wymienionych mięśni może prowadzić do zatrucia organizmu dwutlenkiem węgla, a w konsekwencji utraty świadomości, zatrzymania obiegu krwi i śmierci. Po uwolnieniu rażonego spod napięcia, czynności oddechowe mogą powrócić do normalnego stanu samoistnie lub po wykonaniu sztucznego oddychania.

W drugim przypadku, tzn. przy przepływie prądu rażeniowego przez centrum kontroli procesu oddychania mieszczące się w mózgu, może nastąpić zakłócenie

lub wstrzymanie pracy tego centrum, a w konsekwencji skutki opisane przy przepływie prądu przez klatkę piersiową. Ta przyczyna wstrzymania oddechu występuje jednak rzadziej, gdyż prawdopodobieństwo przepływu prądu rażeniowego przez głowę jest niewielkie, a poza tym zakłócenie procesu oddechowego na tej drodze wymaga większego natężenia prądu rażeniowego. Przy działaniu prądu rażeniowego na ośrodek kontroli procesu oddechowego i może wystąpić wstrzymanie oddechu, którego przywrócenie jest często trudne, choć możliwe dzięki sztucznemu oddychaniu.

Zatrzymanie obiegu krwi jest następstwem fibrylacji (migotania) komór sercowych przy przepływie prądu bezpośrednio przez mięsień sercowy. Fibrylacja może ustąpić pod wpływem dodatkowego bodźca elektrycznego (defibrylacji) lub też masażu serca wykonanego przez osobę ratującą porażonego.

Nie mniej groźnymi skutkami dla człowieka mogą okazać się oparzenia. Odpowiednio do przyczyn powstania oparzeń można rozróżnić oparzenia łukiem, oparzenia elektrotermiczne i oparzenia mieszane.

Oparzenia łukiem są spowodowane intensywnym ogrzewaniem ciała ludzkiego przez łuk elektryczny. Ich efekty dotyczą głównie nie osłoniętych części ciała ludzkiego (ręce, twarz) i najczęściej są to niewielkie oparzenia. Powstają głównie przy urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia. Efekty takich oparzeń mogą być groźne dla wzroku, gdy człowiek nie zamknie powieki i poparzeniu ulegną gałki oczne. Groźne mogą być też oparzenia łukiem przy urządzeniach wysokiego napięcia, choć występują one rzadziej. W tych przypadkach na człowieka działa większa energia cieplna łuku w stosunku do łuku niskiego napięcia, a oparzenia są na ogół bardziej rozległe. Potęguje je zwykle palące się ubranie.

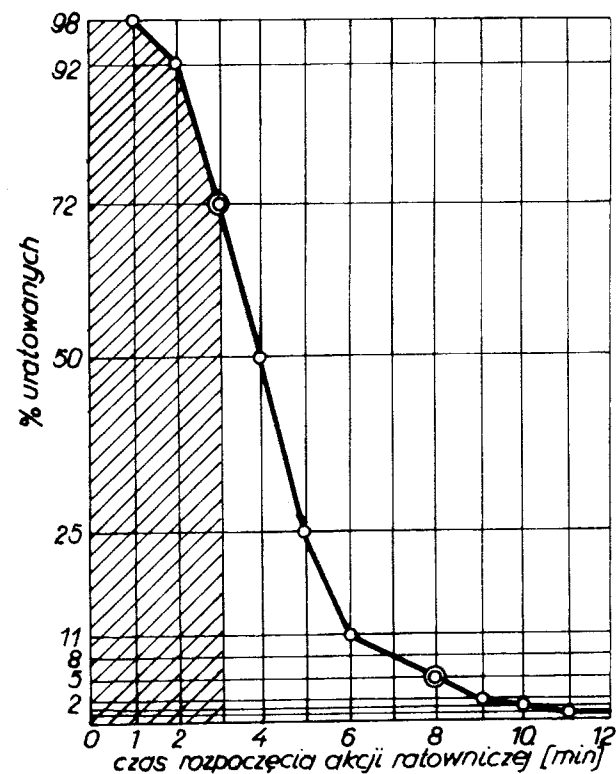
Oparzenia elektrotermiczne to oparzenia wywołane bezpośrednim przepływem prądu przez organizm ludzki. Efekty tego przepływu są zależne od oporu ciała ludzkiego na drodze przepływu prądu rażeniowego, kwadratu prądu rażeniowego i czasu rażenia. Szczególnie niebezpieczne skutki oparzeń elektrotermicznych notuje się podczas wypadków przy urządzeniach wysokiego napięcia, gdy prąd rażeniowy jest stosunkowo duży. Już temperatura około 50°C powoduje ściąganie się białka w komórkach organizmu ludzkiego. Wyższe temperatury wywołują już zniszczenie tkanek na drodze przepływu prądu. Dotyczy to skóry, mięśni, narządów wewnętrznych i kości. Oparzenie skóry może prowadzić do jej martwicy i zwęglenia. Uszkodzenie mięśni i kości może mieć charakter mechaniczny, oparzeń, martwicy lub zwyrodnienia. Oparzenia organów wewnętrznych mogą doprowadzić do martwicy i rozpadu tych organów. Produkty rozpadu oparzonych

tkanek wchłaniane przez organizm wywierają działanie toksyczne i prowadzą w skrajnych przypadkach do śmierci porażonego. Dość często wymienia się tu powstawanie w mięśniach mioglobiny, która może zaciemniać nerki i uniemożliwić filtrację moczu.

Mieszane oparzenia, czyli oparzenia łukiem i oparzenia elektrotermiczne, występujące łącznie, zdarzają się bardzo rzadko. Skutki tego rodzaju oparzeń są identyczne, jak przy oparzeniach elektrotermicznych. Wszystkie rodzaje oparzeń są groźne nie tylko ze względu na opisane wcześniej skutki, ale również ze względu na to, że w wielu przypadkach skutki te są nieodwracalne.

RATOWANIE PORAŻONYCH PRĄDEM ELEKTRYCZNYM. POMOC DORAŻNA

Skuteczność ratunku dla porażonego prądem elektrycznym zależy od szybkości i sprawności akcji ratowniczej (rys. Z. 4.1).



Rys. Z.4.1. Spadek szans uratowania porażonego w miarę opóźnienia akcji ratowniczej

Uwolnienie porażonego spod działania prądu elektrycznego

Uwolnienia należy dokonać jedną z następujących metod:

- przez wyłączenie napięcia właściwego obwodu elektrycznego jednym z następujących sposobów:
 - otwarcie właściwych łączników od strony zasilania,
 - usunięcie wkładek topikowych z obwodu zasilania,
 - przecięcie przewodów od strony zasilania za pomocą narzędzi z izolowanymi rękojeściami i przy zastosowaniu środków chroniących przed skutkami łuku elektrycznego,
- przez odciągnięcie porażonego od narzędzi będących pod napięciem. Odciągnięcia należy dokonać w przypadku, gdy wyłączenie napięcia sposobami podanymi powyżej trwałoby zbyt długo, względnie byłoby trudniejsze i niebezpieczniejsze do wykonania,
- przez odizolowanie porażonego, uniemożliwiające przepływ prądu przez jego ciało. Należy to wykonywać w przypadku, gdy metody podane w punktach a) i b) okazały się nieskuteczne.

Odizolowania dokonuje się w sposób następujący:

- przy przepływie prądu przez ciało porażonego od ręki do nóg, przy jednoczesnym zaciśnięciu dłoni na urządzeniu będącym pod napięciem – odizolowania należy dokonać przez podsuniecie pod nogi porażonego materiału izolacyjnego,
- przy przepływie prądu od jednej ręki do drugiej (podłoże izolowane) należy przerwać obwód prądu podkładając materiał izolacyjny pod kolejno odginane palce jednej dłoni.

Przy uwalnianiu porażonych spod działania prądu elektrycznego należy stosować jako podstawowy materiał izolacyjny sprzęt ochronny zasadniczy i dodatkowy, jak: rękawice gumowe, półbuty, dywaniki, drążki itp. W razie braku sprzętu ochronnego można stosować jako materiał izolacyjny zastępczy: suche drewno, tworzywa sztuczne, suche materiały tekstylne.

Osoba ratująca musi dokonać wyboru metody i sposobu uwolnienia porażonego spod działania prądu elektrycznego w zależności od warunków w jakich nastąpiło porażenie, mając na uwadze własne bezpieczeństwo oraz potrzebę natychmiastowego uwolnienia porażonego.

Sposoby ratowania porażonych prądem elektrycznym

Sposób postępowania zależy od skutków działania prądu na organizm ludzki. Jeśli porażony jest przytomny i doznał obrażeń zewnętrznych, np. poparzeń, należy założyć opatrunek i skierować do lekarza. Skierowanie do lekarza jest bezwzględnie konieczne przy porażeniach napięciem wyższym od 1000 V nawet wtedy, gdy nie zauważa się bezpośrednich skutków porażenia.

Przy długotrwałym działaniu prądu elektrycznego może nastąpić utrata przytomności (omdlenie), a nawet śmierć pozorna.

Ze stanu śmierci pozornej można porażonego ożywić, pod warunkiem, że najpóźniej w ciągu 3–4 minut po ustaniu oddychania i krążenia krwi zastąpi się te czynności w sposób sztuczny. Ponieważ ustalenie tego czasu w warunkach wypadku jest trudne i często wątpliwe, zatem akcję ratunkową należy podjąć zawsze i prowadzić aż do przybycia lekarza.

Tok postępowania

1. Po uwolnieniu porażonego spod napięcia położyć go na wznak, odchylić głowę do tyłu, rozpiąć ubranie pod szyją i w pasie, oczyścić jamę ustną.
2. Rozpoznać stan porażonego.
3. Przy braku tętna zastosować masaż serca.
4. Przy braku oddechu zastosować sztuczne oddychanie.
5. Zawiadomić pogotowie ratunkowe.

Sposoby sztucznego oddychania

Sposób „usta–usta”

Jest to najdoskonalszy sposób, ponieważ drożność dróg oddechowych jest tu zachowana. Przy wykonywaniu sztucznego oddychania tym sposobem należy zachować następującą kolejność i zakres czynności.

1. Ułożyć porażonego jak w punkcie 1 toku postępowania.
2. Klęknąć za głową porażonego po prawej lub lewej stronie, odgiąć głowę ku tyłowi. Oburącz uchwycić żuchwę i ustawić tak, aby dolne zęby znalazły się przed zębami górnymi.
3. Wdech (rys. Z.4.2). Ratujący nabrawszy powietrza do płuc obejmuje szczelnie swymi ustami usta porażonego i wdmuchuje powietrze do jego płuc. Należy przy tym zatkać nos porażonego własnym policzkiem.

4. Wdmuchując powietrze należy obserwować, czy klatka piersiowa porażonego unosi się. Do uniesienia klatki piersiowej porażonego przez wdmuchiwanie powietrza potrzebny jest niewielki wysiłek. Jeżeli wdmuchiwanie idzie ciężko, a klatka się nie unosi, należy poprawić drożność dróg oddechowych (oczyścić usta, podciągnąć język).
5. Wydech (rys. Z.4.3). Ratujący odrywa usta od porażonego, klatka piersiowa zapada się i następuje samoistny wydech. W ciągu jednej minuty należy wykonać około 15 oddechów.



Rys. Z.4.2. Sztuczne oddychanie sposobem „usta–usta” – wdech



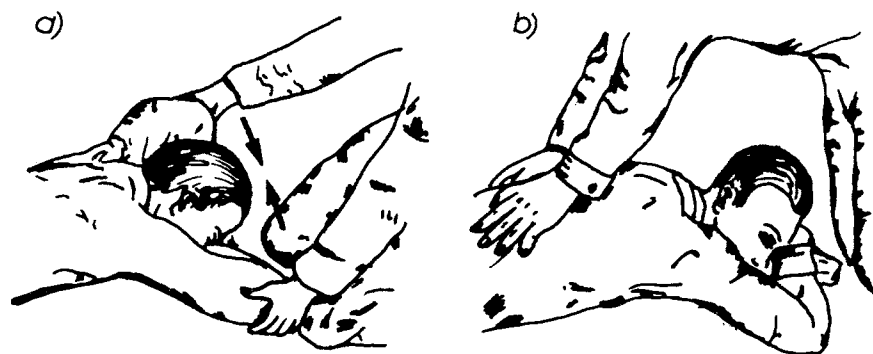
Rys. Z.4.3. Sztuczne oddychanie sposobem „usta–usta” – wydech

Sposób uciskania i rozciągania klatki piersiowej (wg Holgera-Nielsena)

Kolejność i zakres czynności.

1. Porażonego ułożyć na brzuchu, a ręce jego położyć jedną na drugiej, aby stanowiły podparcie dla czoła.
2. Odchylić ku tyłowi głowę opartą czołem o ręce i zwrócić nieco w bok.
3. Ratujący klęka za głową porażonego, ujmując swymi rękami łokcie porażonego i unosi je ku górze zbliżając je nieco do siebie nad plecami porażonego. Jest to sztuczny wdech (rys. Z.4.4.a).
4. Ratujący szybko opuszcza łokcie porażonego do pozycji wyjściowej, a ręce przenosi na dalszą tylną-boczną część klatki piersiowej i dokonując zamachu

górną częścią swego ciała wywiera rękoma ucisk na klatkę piersiową. Jest to sztuczny wydech (rys. Z.4.4b).



Rys. Z.4.4. Sztuczne oddychanie sposobem Holgera-Nielsena: a) wdech, b) wydech

Postępowanie w przypadku zatrzymania krążenia krwi

Jeśli u porażonego nie stwierdza się tętna w okolicy przegubu to należy je zbadać na większej tętnicy, to jest na tętnicy szyjnej obok krtani (jabłko Adama) lub na aorcie brzusznej tuż na lewo od pępka, przez głębsze uciśnięcie palcami tej okolicy. Brak tętna na dużych tętnicach wskazuje na zatrzymanie krążenia krwi w wyniku zatrzymania serca, migotania komór serca lub niedostatecznej pracy serca. W kilkanaście do kilkudziesięciu sekund po zatrzymaniu krążenia ustaje oddychanie. Porażony jest bladoszary, źrenice ma szerokie, nie zwężające się, mięśnie są wiotkie.

Zatrzymanie krążenia krwi, któremu towarzyszy zawsze brak oddechu, jest wskazaniem do równoczesnego wykonania pośredniego masażu serca (przez klatkę piersiową) i sztucznego oddychania.

Wykonywanie pośredniego masażu serca i sztucznego oddychania

Kolejność i zakres czynności.

1. Porażonego ułożyć jak do sztucznego oddychania metodą „usta–usta”.
2. Ratujący klęka za głową porażonego jak przy metodzie „usta–usta”.

3. Rozwartą lewą rękę i jej nadgarstek ratujący kładzie na mostku porażonego w dolnej 1/3 jego części. Lewa ręka styka się tylko nadgarstkiem z mostkiem porażonego.
4. Prawą rękę należy ułożyć na lewej i teraz posługując się jednocześnie ciężarem własnego ciała wykonać nagłe, krótkie, mocne pchnięcie mostka w kierunku kręgosłupa.
5. Po każdym pchnięciu zwalniać nacisk rąk.
6. Czynność tę powtarzać z częstością 60–80 razy na minutę.
7. Po dokonaniu każdych 4–6 uciśnień serca przez mostek wykonać jeden sztuczny oddech metodą „usta–usta”.

Pośredni masaż serca jest czynnością niebezpieczną dla porażonego (możliwość złamań), dlatego należy go wykonywać z dużą ostrożnością.